

TREBALL FI DE GRAU

Grau en Enginyeria Mecànica

**ESTUDI I DISSENY DE LA CAIXA DE PEDALS PER UN
MONOPLAÇA DE FORMULA STUDENT**



Volum I

Memòria

Autor: David Garcia Bascoy
Director: Rubén Arroyo González
Convocatòria: Maig 2018

Resum

El present projecte es centra en totes les etapes per al desenvolupament, l'estudi i disseny del sistema de pedals d'un monoplaça de Formula Student. Concretament, al quart monoplaça pertanyent a l'equip e-Tech Racing de L'Escola d'Enginyeria de Barcelona Est (Universitat Politècnica de Catalunya). Això implica que el resultat final compleixi amb els objectius de lleugeresa, resistència i funcionalitat, adaptant-se sempre a les possibilitats econòmiques del equip, així com als compromisos amb els altres departaments involucrats i als requeriments normatius de la competició per tal de participar en la prestigiosa competició Formula Student.

En aquest treball s'analitzen diverses solucions conceptuals de disseny per sistema de pedalària. S'han creat diferents esbossos bàsics per visualitzar les idees variades. El treball documenta el procés de disseny assistit per ordinador, que més endavant a través d'anàlisis d'elements finits ha estat verificat, al mateix temps descriu de forma resumida els mètodes de fabricació i registra les lliçons apreses durant tot el projecte. Els caps de departament dels altres sistemes han estat consultats durant tot el disseny per assegurar una incorporació exitosa al monoplaça.

Resumen

El presente proyecto se centra en todas las etapas para el desarrollo, el estudio y diseño del sistema de pedales de un monoplaça de Formula Student. Concretamente, el cuarto monoplaça perteneciente al equipo e-Tech Racing de La Escuela de Ingeniería de Barcelona Este (Universitat Politècnica de Catalunya). Esto implica que el resultado final cumpla con los objetivos de ligereza, resistencia y funcionalidad, adaptándose siempre a las posibilidades económicas del equipo, así como a los compromisos con los otros departamentos involucrados y a los requerimientos normativos de la competición para participar en la prestigiosa competición Formula Student.

En este trabajo se analizan varias soluciones conceptuales de diseño del sistema de pedalera. Se han creado diferentes esbozos básicos para visualizar las ideas variadas. El trabajo documenta el proceso de diseño asistido por ordenador, que más adelante a través de análisis de elementos finitos ha sido verificado, al mismo tiempo describe de forma resumida los métodos de fabricación y registra las lecciones aprendidas a lo largo de todo el proyecto. Los encargados de departamento de los otros sistemas han sido consultados durante todo el diseño para asegurar una incorporación exitosa al monoplaça.

Abstract

The present project focuses on all the stages for the development, study and design of the pedal system of a Formula Student car. Specifically, the fourth car belonging to the e-Tech Racing team of the School of Engineering of Barcelona East (Universitat Politècnica de Catalunya). This implies that the result complies with the objectives of lightness, resistance and functionality, always adapting to the economic possibilities of the team, as well as to the commitments with the other departments involved and the regulatory requirements of the competition to participate in the prestigious Formula Student competition.

In this project, several conceptual solutions for the design of the pedalboard system are analysed. Different basic sketches have been created to visualize the varied ideas. The work documents the process of computer-aided design, which later through finite element analysis has been verified, at the same time summarizes the manufacturing methods and records the lessons learned throughout the project. The department managers of the other systems have been consulted throughout the design to ensure a successful incorporation to the car.

Agraïments

M'agradaria agrair al que ha estat el tutor d'aquest treball, Rubén Arroyo, per haver acceptat el projecte, així com pel seu suport i orientació.

A totes les persones i empreses que fan realitat la possibilitat de treure endavant el cotxe un any més, per la seva col·laboració amb l'equip e-Tech Racing.

A tot els companys que he coincidit durant la meva estança a l'equip e-Tech Racing, per haver-me fet que em retrobés amb l'enginyeria i que sentís la passió per ella. Especialment a Tomàs Martin per haver estat la persona de la qual he après més professionalment, i a Javier Millet, ja que si no sinó fos gràcies a ell, mai m'hagués introduït en aquest món tant apassionant anomenat Formula Student.

Per últim, agrair a la meva família el haver-me donat els mitjans necessaris per arribar fins aquí i el suport que m'han donat al llarg de tots aquests anys, sense deixar de creure en cap moment en la meva persona.

Gràcies a tots.



Glossari

Rf	Força transmesa a la bomba frontal
Rr	Força transmesa a la bomba posterior
Fp	Força exercida pel pilot
Lb	Longitud de bomba
C	Angle d'inclinació de pedal
E	Mòdul de Young
ρ	Densitat
M	Moment flector
I_z	Segon moment d'inèrcia
σ_x	Tensió en un punt de la secció
K	Constant elàstica d'una molla
r	Distància punt d'aplicació d'una força
θ	Deformació angular
U	Energia de deformació
d	Diàmetre
D	Diàmetre d'espira molla
N	Número d'espises

Llista de Taules

<i>Taula 1 Taula antropomètrica proporcionada per normativa FSAE</i>	<i>30</i>
<i>Taula 2 Limitacions angulars restringides per l'estructura monocasc</i>	<i>33</i>
<i>Taula 3 Distàncies ergonòmiques en consideració</i>	<i>38</i>
<i>Taula 4 Disposició de les bombes</i>	<i>45</i>
<i>Taula 5 Selecció del sistema ajustable</i>	<i>47</i>
<i>Taula 6 Resultat del estudi de secció</i>	<i>70</i>
<i>Taula 7 Assignació de lamine i gruix corresponent a cadascun dels pedals</i>	<i>82</i>
<i>Taula 8 Components de la força aplicada</i>	<i>83</i>
<i>Taula 9 Càlcul d'energia necessària per a la producció dels principals materials</i>	<i>105</i>
<i>Taula 10 Costos d'enginyeria</i>	<i>110</i>
<i>Taula 11 Costos de fabricació</i>	<i>111</i>
<i>Taula 12 Costos dels components comercials</i>	<i>112</i>
<i>Taula 13 Cost Total</i>	<i>113</i>

Llista d'Il·lustracions

<i>Il·lustració 3.1 Esquema general sistema de frenada</i>	<i>16</i>
<i>Il·lustració 3.2 Esquema elements elèctrics</i>	<i>17</i>
<i>Il·lustració 3.3 Sketch bomba de fre</i>	<i>17</i>
<i>Il·lustració 3.4 Estructura balance bar (TILTON)</i>	<i>18</i>
<i>Il·lustració 3.5 Forces en el repartidor de frenada (AP Racing)</i>	<i>18</i>
<i>Il·lustració 3.6 Situació del repartidor de frenada (TILTON)</i>	<i>19</i>
<i>Il·lustració 3.7 Relació de distància de vora "e/D"</i>	<i>20</i>
<i>Il·lustració 3.8 Mides percentil 95th masculí</i>	<i>23</i>
<i>Il·lustració 3.9 Plantilles Cockpit Opening (esquerra) i Internal Cross Section (dreta).</i>	<i>23</i>
<i>Il·lustració 4.1 Esquelet ergonòmic</i>	<i>27</i>
<i>Il·lustració 4.2 Package definition</i>	<i>28</i>
<i>Il·lustració 4.3 Posicionament del dummy dins l'estructura monocasc</i>	<i>28</i>
<i>Il·lustració 4.4 Panell de configuració per un dummy a través de CativaV5</i>	<i>29</i>
<i>Il·lustració 4.5 Diagrama mesures bàsiques (FSAE)</i>	<i>30</i>
<i>Il·lustració 4.6 Definició dummy percentil 95th</i>	<i>31</i>
<i>Il·lustració 4.7 Definició rang comoditat de 99,99% a tota articulació</i>	<i>32</i>
<i>Il·lustració 4.8 Articulacions a tindre en consideració per al posicionament del sistema</i>	<i>32</i>
<i>Il·lustració 4.9 Altura mínima (esquerra) i màxima (dreta) possible dins l'estructura monocasc</i>	<i>35</i>
<i>Il·lustració 4.10 Distància de repòs taló respecte el sòl monocasc</i>	<i>35</i>
<i>Il·lustració 4.11 Posicionament del taló</i>	<i>36</i>
<i>Il·lustració 4.12 Recorregut peu accelerador</i>	<i>37</i>
<i>Il·lustració 4.13 Distància màxima (dreta) i mínima (esquerra) entre pedals dins el rang de comoditat</i>	<i>37</i>
<i>Il·lustració 4.14 Pedalaria assemblada a la cara superior (TILTON)</i>	<i>40</i>
<i>Il·lustració 4.15 Pedalaria assemblada part inferior monocasc</i>	<i>41</i>
<i>Il·lustració 4.16 Molles de retorn</i>	<i>41</i>
<i>Il·lustració 4.17 Retorn pedal per motlle de torsió</i>	<i>42</i>
<i>Il·lustració 4.18 Configuració bomba en horitzontal</i>	<i>43</i>
<i>Il·lustració 4.19 Configuració bomba per sota l'eix de rotació</i>	<i>44</i>
<i>Il·lustració 4.20 Configuració bomba en angle</i>	<i>45</i>
<i>Il·lustració 4.21 Croquis incorporació de sistema de guies</i>	<i>46</i>
<i>Il·lustració 5.1 Esquema relació de pedal</i>	<i>48</i>
<i>Il·lustració 5.2 Bomba de fren AP racing model CP7855 (AP racing)</i>	<i>50</i>
<i>Il·lustració 5.3 Balance Bar Assembly Tilton model 72-250 (Tilton)</i>	<i>50</i>
<i>Il·lustració 5.4 Sensor lineal de posició de la marca Variohm (Variohm)</i>	<i>51</i>
<i>Il·lustració 5.5 Espai dins el monocasc</i>	<i>52</i>
<i>Il·lustració 5.6 Transfer Function Sensor</i>	<i>53</i>
<i>Il·lustració 5.7 Distàncies de subjecció dels sensor accelerador</i>	<i>54</i>
<i>Il·lustració 5.8 Configuració geomètrica sensor 1</i>	<i>55</i>
<i>Il·lustració 5.9 Configuració geomètrica sensor 2</i>	<i>56</i>

<i>Il·lustració 5.10 Posicionament límits mecànics</i>	57
<i>Il·lustració 5.11 Geometria pedal accelerador</i>	58
<i>Il·lustració 5.12 Posicionament geomètric lliure de les bombes</i>	59
<i>Il·lustració 5.13 Geometria pedal de fre</i>	60
<i>Il·lustració 5.14 Geometria final pedal de fre</i>	61
<i>Il·lustració 5.15 Al·leacions d'alumini (Callister)</i>	65
<i>Il·lustració 5.16 Pedals d'un monoplaça Formula 1</i>	65
<i>Il·lustració 5.17 Comparativa propietats específiques compostes amb altres metalls</i>	66
<i>Il·lustració 5.18 Propietats segons orientació de capa del laminat</i>	67
<i>Il·lustració 5.19 Perfils del pedal considerats</i>	69
<i>Il·lustració 5.20 Exemple d'estudi de secció</i>	70
<i>Il·lustració 5.21 CAD Pedal de fre</i>	70
<i>Il·lustració 5.22 Croquis procés de fabricació fibra per buit (Composites-ate)</i>	71
<i>Il·lustració 5.23 Opció inicial de disseny de pedal accelerador (explosinat esquerra / assemblat dreta)</i>	72
<i>Il·lustració 5.24 CAD Pedal accelerador</i>	72
<i>Il·lustració 5.25 Bases de subjecció pedals accelerador (a) i fre (b)</i>	74
<i>Il·lustració 5.26 Botes GT2i model Race by Sparco (web GT2i)</i>	75
<i>Il·lustració 5.27 Planta bota GTi2 talla 43</i>	75
<i>Il·lustració 5.28 Procés de modelat foot support</i>	76
<i>Il·lustració 5.29 CAD resultant talonera (a) i foot suport (b)</i>	76
<i>Il·lustració 5.30 Vista superior cara inferior de la estructura monocasc</i>	77
<i>Il·lustració 5.31 Distància entre pedals</i>	78
<i>Il·lustració 5.32 Plataforma mòbil</i>	78
<i>Il·lustració 5.33 Orientació de laminació capes segons ANSYS ACP</i>	79
<i>Il·lustració 5.34 Control del grandària dels nodes de malla</i>	80
<i>Il·lustració 5.35 Representació del procés de laminat a través del mòdul ACP pre d'ANSYS</i>	81
<i>Il·lustració 5.36 Condicions de simulació (a)</i>	82
<i>Il·lustració 5.37 Condicions de simulació (b)</i>	83
<i>Il·lustració 5.38 Simulació pedal 01 - 2 capes</i>	84
<i>Il·lustració 5.39 Simulació pedal 04 - 8 capes</i>	85
<i>Il·lustració 5.40 Simulació pedal 03 - 6 capes</i>	85
<i>Il·lustració 5.41 Simulació pedal 05 - 10 capes</i>	86
<i>Il·lustració 5.42 Simulació pedal 06 - 12 capes</i>	86
<i>Il·lustració 5.43 Representació de cantonades del pedal laminat amb ANSYS</i>	87
<i>Il·lustració 5.44 Condicions de simulació pedal</i>	88
<i>Il·lustració 5.45 Diagrama Von Mises pedal de fre</i>	89
<i>Il·lustració 5.46 Deformació del pedal</i>	89
<i>Il·lustració 5.48 Forces aplicades a base del pedal de fre</i>	90
<i>Il·lustració 5.48 Diagrama de deformació màxima (imatge superior) i de Von Mises que patirà a peça</i>	90
<i>Il·lustració 5.49 Anàlisi d'esforços molla torsional</i>	91
<i>Il·lustració 5.50 Distància des de l'eix de rotació fins al centre de masses del pedal accelerador</i>	94

<i>Il·lustració 5.51 Determinació de la massa pedal accelerador</i>	94
<i>Il·lustració 5.52 Croquis forces molla</i>	95
<i>Il·lustració 5.53 Distància a l'eix del suport molla de retorn</i>	95
<i>Il·lustració 5.54 Localització molla retorn</i>	97
<i>Il·lustració 5.55 Interruptor analògic (RS PRO)</i>	97
<i>Il·lustració 5.56 Posicionament BOTS</i>	98
<i>Il·lustració 5.58 Fre lineal d'autoblocatge WHKD-1010 (IGUS)</i>	99
<i>Il·lustració 5.58 CAD Guies WS-10 (IGUS)</i>	99
<i>Il·lustració 6.1 Esquema de laminat per infusió.</i>	101
<i>Il·lustració 6.2 Representació forn autoclau (Nexus Projectes)</i>	102
<i>Il·lustració 6.3 Motlle foot suport (esquerra) i talonera (dreta)</i>	103
<i>Il·lustració 6.4 Motlle pedal accelerador</i>	104

Índex.

RESUM	II
RESUMEN	III
ABSTRACT	IV
AGRAÏMENTS	V
GLOSSARI	VI
LLISTA DE TAULES	VII
LLISTA D'IL·LUSTRACIONS	IX
1. PREFACI	11
1.2. Origen del treball	11
1.3. Motivació	12
2. INTRODUCCIÓ	13
2.1. Objectius del treball.....	13
2.2. Abast del treball.....	13
3. EL PEDAL BOX SYSTEM D'UN MONOPLAÇA DE FORMULA STUDENT	15
3.1. Els components d'un pedal box system de Formula Student	15
3.2. Normativa a atendre	20
3.3. Consideracions de la competició.....	23
3.3.1. Proves Estàtiques	24
3.3.2. Proves Dinàmiques	24
4. ANÀLISI DE DISSENY	26
4.1. Objectius de disseny	26
4.2. Consideracions ergonòmiques	27
4.2.1. Posada en posició de conducció	28
4.2.2. Mòdul d'ergonomia CatiaV5.....	28
4.2.3. Angles de comoditat i limitacions angulars	32
4.2.4. Determinació de les distàncies variants	35
4.3. Possibles configuracions.....	39

4.3.1.	Disposició del conjunt.....	40
4.3.2.	Molles de retorn pedal Accelerador	41
4.3.3.	Disposició de les bombes de fre	42
4.3.4.	Sistema d'ajustabilitat	46
5.	PROCÉS DE DISSENY	48
5.1.	Disseny Geomètric	48
5.1.1.	Consideracions restrictives.....	48
5.1.2.	Generació geomètrica	53
5.2.	Selecció de materials	64
5.3.	Modelació.....	68
5.3.1.	Pedal de fre.....	69
5.3.2.	Pedal accelerador	71
5.3.3.	Bases de subjecció.....	73
5.3.4.	Foot suports i taloneres.....	74
5.3.5.	Plataforma mòbil	77
5.4.	Simulació del conjunt.....	79
5.4.1.	Estudi paramètric pedal accelerador	79
5.4.2.	Simulació pedal de frenada	88
5.4.3.	Base de subjecció pedal de frenada.....	90
5.5.	Assemblatge.....	91
5.5.1.	Elements a tindre en consideració	91
5.5.2.	Assemblatge Final.....	100
6.	FABRICACIÓ	101
6.1.	Mètodes de fabricació amb materials compostos.....	101
6.1.1.	Fabricació per infusionat	101
6.1.2.	Fabricació per prepreg	102
6.2.	Mecanitzats	103
7.	ANÀLISI DE L'IMPACTE AMBIENTAL	105
	CONCLUSIONS	107
	PRESSUPOST	110
	BIBLIOGRAFIA	115

1. Prefaci

1.2. Origen del treball

Va ser durant la dècada dels anys vuitanta, quan l'organització internacional SAE (*Society of Automotive Engineers*) va detectar que els joves que acabaven els seus estudis universitaris i s'incorporaven al món laboral tenien una gran coneixement teòric, però mancaven d'aquelles competències que consoliden a un professional.

L'objectiu de l'organització era crear una escenari que permetés als estudiants d'enginyeria aplicar tot allò après dins les aules de manera pràctica, per fomentar el desenvolupament de les seves habilitats professionals, així com dotar-los d'experiència en el tracte amb empreses, cerca de finançament, treball sota pressió i la concepció del disseny industrial.

Va ser llavors quan l'organització va decidir que la millor forma de motivar als joves a formar part d'un projecte així, era la competició. D'aquesta forma l'any 1981 va néixer als Estats Units la Formula SAE o més coneguda actualment com Formula Student, constituint la primera competició de cotxes tipus fórmula per a estudiants.

Des de llavors, la competició ha crescut fins al punt de ser reconeguda com la competició internacional d'automobilisme més important al món a nivell universitari. Avui en dia compta amb més de quatre cents equips provinents de diferents universitats d'enginyeria d'arreu del món i alberga competicions a setze països diferents.

Un d'aquests equips és l'equip e-Tech Racing – Formula Student Team, de l'Escola d'Enginyeria de Barcelona Est, i és en la implicació de l'autor dins el departament d'ergonomia durant la temporada 2017/18, on sorgeix l'origen d'aquest treball.

1.3. Motivació

A meitats del tercer curs d'enginyeria mecànica i després d'una estància de sis mesos a Itàlia, era un estudiant com qualsevol altre, encara sense saber en quina branca de l'enginyeria m'especialitzaria. En la meua tornada i a l'inici del curs 2016/17, vaig decidir que era moment de cercar pràctiques curriculars i així iniciar el desenvolupament en el món professional.

Després d'unes setmanes sense trobar-ne, va ser llavors quan vaig decidir amb molts dubtes formar part de l'equip de competició e-Tech Racing i entrar en el món de la Formula Student.

Certes branques de l'avaluació del disseny dins la competició Formula Student estan relacionades amb l'economia, el finançament i l'equip com a empresa, es per tant, que dins de qualsevol equip de Formula Student es requereixen i s'apliquen coneixements de màrqueting, anàlisi de costos o estratègies de negoci. Degut al meu interès pel món de l'empresa i les relacions empresarials se'm va oferir entrar al departament de Business, Management & Màrqueting. La idea em va agradar ja que al mateix temps podria combinar-ho amb les pràctiques que finalment vaig iniciar al departament de disseny de l'empresa Roca Sanitaris S.A.

Després participar en les competicions de FS Czech Republic i FS Spain amb l'ETR03 en la temporada 2017, els jutges dels esdeveniments van donar a l'equip un feedback estàndard a quant a l'ergonomia del monoplaça. Partint d'aquesta experiència i donat que de cara la temporada 2018 s'implementaria per primer cop un monoplaça amb estructura monocasc completament feta de fibra de carboni, va ser quan el departament mecànic va decidir que calia implementar un disseny ergonòmicament més adequat des d'un punt de vista integral i en la millora dels sistemes involucrats.

Donada aquest situació, en el departament d'ergonomia era necessària l'entrada d'un nou membre, amb l'objectiu de reforçar el departament de cara a la següent temporada. Vist l'interès que tenia per entrar en un departament tècnic, va ser llavors quan se'n va oferir dissenyar el sistema de pedals per el monoplaça de la temporada 2017/18 i així ha estat fins el punt que en aquest document es recull tot el treball realitzat.

2. Introducció

2.1. Objectius del treball

L'objectiu principal de l'actual treball és l'estudi i disseny del muntatge òptim d'un sistema de pedals per un monoplaça elèctric de tipus formula; i en aquest cas basant-se en les necessitats de l'equip e-Tech Racing.

Aquestes necessitats inclouen factors com el pes, l'ergonomia, la durabilitat, adaptabilitat, fabricació i el cost. L'assemblatge final de tot el conjunt s'ha d'integrar òptimament dins el l'estructura monocasc i interactuar amb el sistema de fre hidràulic i el sistema elèctric del monoplaça.

El desenvolupament del treball se centrarà en el conjunt dels pedals, que inclou el pedal accelerador, pedal de fre i la base dels pedals que interactua amb el monocasc.

Al mateix temps el conjunt del sistema ha d'estar d'acord amb la normativa vigent marcada per Fórmula SAE, amb l'objectiu d'assegurar la participació del vehicle a les competicions determinades per l'equip.

L'assemblatge final deu ser fabricat de forma satisfactòria, per tal que permeti transferir la força exercida pel pilot fins el sistema de frenada hidràulic, així com permetre al sistema d'acceleració, proporcionant una diferència mínima suficientment consistent entre dos potenciòmetres lineals per tal de regular l'entrada de potencia als motors.

2.2. Abast del treball

Al tractar el treball sobre el disseny d'un sistema complet, cal tindre en consideració que en aquest estan involucrats diversos elements, materials i processos on cadascun d'ells podria ser perfectament objecte d'estudi, i profunditzar en el seu comportant i/o funcionament fins al punt d'obtenir diversos treballs paral·lels.

A causa que el present treball està emmarcat en el context de l'equip de Formula Student e-Tech Racing, s'encarregarà de definir i explicar totes les fases i les consideracions que s'han tingut en compte al llarg del procés de disseny d'un sistema de pedal·laria a partir de l'exemple de disseny per al context de la temporada 2017/2018.

En conseqüència, s'estudiaran tots els requeriments externs i de context que seran necessaris tenir en compte per a l'elecció del sistema. Després s'estudiaran els tipus de sistemes que existeixen i

s'especificaran les virtuts i defectes de cadascun d'ells, ajudant al lector a entendre cadascuna de les decisions preses.

Finalment es presentarà un disseny final i es defensarà mitjançant càlculs i simulacions, permeten entendre els aspectes que s'han de tenir en compte de cara a optimitzar el procés de disseny.

Cal apuntar que a causa dels timings i les dates de fabricació que porta l'equip e-Tech Racing juntament amb el volum de feina per part de les empreses que col·laboren amb l'equip, no ha estat possible documentar l'etapa de fabricació del conjunt dins aquesta memòria, no obstant es descriuran de forma resumida el mètodes que s'han escollit per fabricar cadascuna de les peces principals del sistema.

3. El pedal box system d'un monoplaça de Formula Student

Es defineix com a caixa de pedals o més conegut en el món de l'automobilisme com a *pedal box system* d'un automòbil, aquell conjunt encarregat transferir la força mecànica produïda pels peus dels pilot amb la finalitat de controlar l'acceleració i frenada del vehicle.

En l'actual cas d'estudi referent a un monoplaça de propulsió elèctrica, està format per dos pedals, un per cadascuna de les funcions. D'altra banda, en el cas dels monoplaça a combustió s'incorpora un tercer pedal que s'utilitza com a embragatge.

El sistema de pedals d'un monoplaça de Formula Student, es podria considerar com qualsevol altre sistema relacionat amb l'automoció, tot i que per normativa i seguretat incorpora alguns elements que el diferencien del resta que es descriuran més endavant.

En aquest capítol es tractarà la normativa a atendre en qualsevol dels casos, les consideracions de la competició i el components que conformen un *pedal box system*.

3.1. Els components d'un pedal box system de Formula Student

A continuació es farà una breu descripció de cadascun dels components principals i més utilitzats per els diferents equips de Formula SAE en el sistema de pedalària del monoplaça.

Pedal Accelerador

En el cas dels monoplaça elèctrics es coneix com a tal el dispositiu que permet regular la potencia d'entrada als motors.

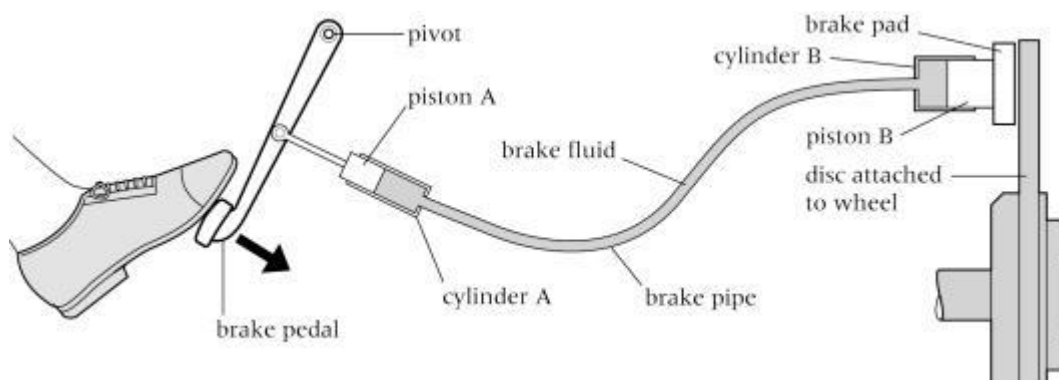
De manera general, el sistema del control de l'accelerador electrònic es basa en un sensor en el pedal que capta la posició del mateix i la comunica a l'ADCAN (*Analog digital to CAN*), que és l'encarregat de transformar el voltatge analògic del sensors en comunicació CAN. Aquest transmet la senyal a la Main ECU (*Electronic Control Unit*) que té la funció d'ordenar la comanda de corrent als inversors en funció de l'estat dinàmic del cotxe. Els Inversors fan servir aquesta ordre com a referència per aplicar una corrent trifàsica als motors, a partir del voltatge de la bateria. (Il·lustració 3.2).

El pedal accelerador ha de tornar a la posició original quan no esta sotmès a cap força i se situa a la dreta del pilot.

Pedal de frenada

El pedal de frenada és l'element encarregat de multiplicar i transmetre al sistema de frens, la força exercida pel peu del pilot i se situa a l'esquerra d'aquest.

Al ser accionat comprimeix el líquid de frens dintre les bombes. Aquestes augmenten la pressió pel circuit que es transmet a través dels anomenats "latiguillos" o tubs de fre fins a la pinça de frenada, que es tanquen sobre els disc de fre, generant un fregament que descelera la rotació de les rodes i en conseqüència frena el vehicle.



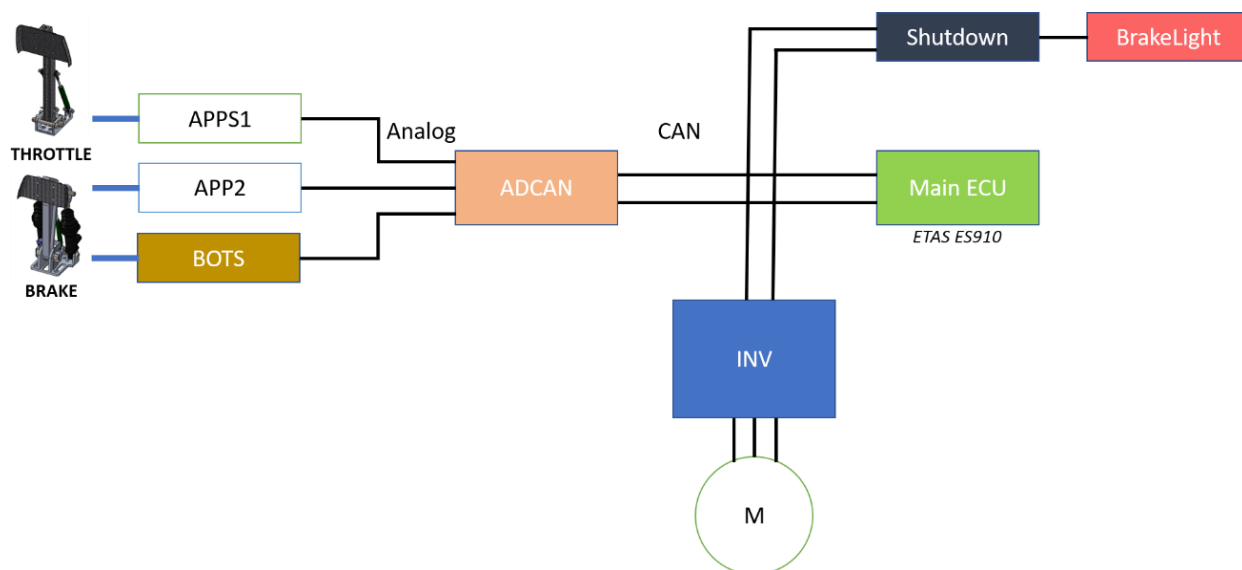
Il·lustració 3.1 Esquema general sistema de frenada

En el cas que el pedal de fre sigui accionat, aquest incorpora un sensor que capta la posició del mateix. De la mateixa manera que amb els sensors de l'accelerador, es comunica la senyal l'ADCAN i aquest la transmet en comunicació CAN a la Main ECU.

Quan aquesta senyal passa d'un cert llindar, la Main ECU ordena l'encesa de la llum de fre via CAN Bus. Al mateix temps mitjançant el valor del sensor de fre, la Main ECU implementa certes proteccions en quant a la comanda de parell als motors; ja que per normativa la comanda de parell ha de ser zero sempre que s'accionin al mateix temps el pedal d'accelerador i el de fre.

L'interruptor BOTS que incorpora el pedal fre, es considera un element més del circuit de *Shut Down*. Aquest treballa com un polsador NO (Normalment obert) dins el circuit de *Shut Down*, que en cas que sigui accionat obrirà el circuit, interrompent l'enviament d'energia als motors i en conseqüència provocant la parada del monoplaça.

Per tal de fer-ho més comprensible, a continuació es mostra un esquema on es mostren els diferents elements esmentats anteriorment, referents al pedal accelerador i de pedal de fre:



Il·lustració 3.2 Esquema elements elèctrics

Bomba de frenada

La bomba de fre o cilindre hidràulic es l'element encarregat de convertir la força produïda pel pilot en el pedal del fre, en pressió hidràulica que recorrerà tots els elements del sistema per dur a terme la frenada.

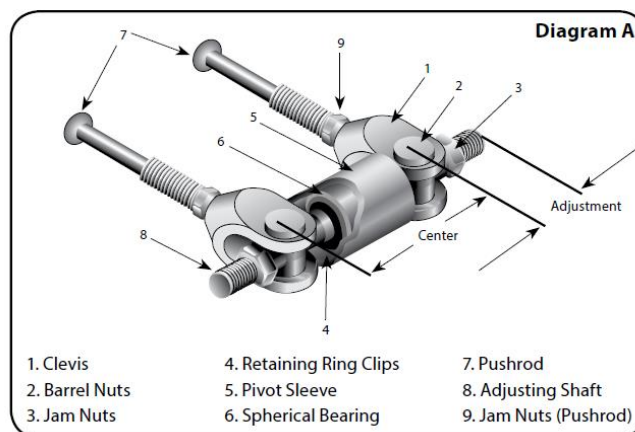


Il·lustració 3.3 Sketch bomba de fre

Segons normativa, el sistema de frens ha d'estar format per dos circuits hidràulics independents. Això significa que ha d'haver-hi dues bombes de fre independents allotjades en la caixa de pedals, una per al sistema de fre davanter i l'altre per al sistema de fre posterior.

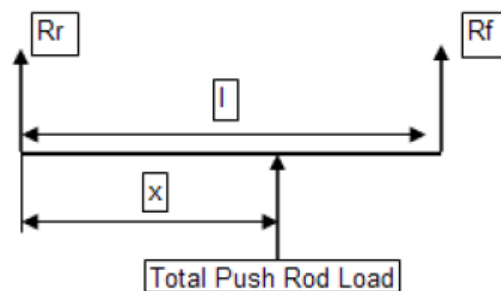
Balance bar

El repartidor de frenada o *balance bar* és un element de balança mitjançant el qual, es pot regular la pressió hidràulica per a cadascun del conjunt de sistemes de frenada, a través dels circuits hidràulics (davanter i posterior). D'aquesta manera permet regular la capacitat de frenada segons les condicions de conducció requerides en cada ocasió.



Il·lustració 3.4 Estructura balance bar (TILTON)

Hi ha una varietat de sistemes disponibles al mercat, tots mecànicament permeten l'ajust del biaix de càrrega del pedal d'una bomba a una altres. La majoria dels sistemes funcionen com un biga simple on la posició d'entrada de càrrega varia en canviar la dimensió X, tal i com es mostra en la figura:



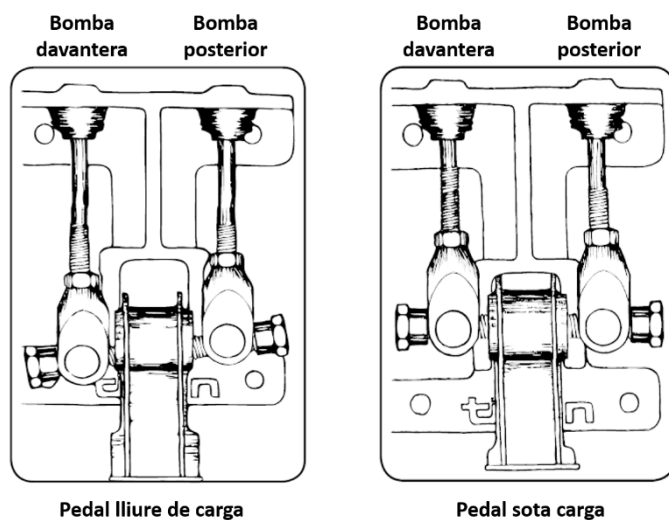
Il·lustració 3.5 Forces en el repartidor de frenada (AP Racing)

El percentatge de força aplicat a cadascuna de les bombes, variarà segons la posició que hagi estat ajustada la barra d'equilibri.

$$R_f = \frac{\text{Total Push Road Load} \cdot \text{Dimension } x}{\text{Dimension } l}$$

$$R_r = \text{Total Push Road Load} - R_f$$

D'aquesta manera, si la junta esfèrica central (situada en el tub) es col·loca exactament al centre de la barra d'equilibri, cada bomba veu la mateixa quantitat de força.



Il·lustració 3.6 Situació del repartidor de frenada (TILTON)

Girant l'eix d'ajust roscat es mou la junta esfèrica pel que fa als clevis. Per exemple, si es gira l'eix i la junta esfèrica es mou més pròxim de la forqueta esquerra, s'exercirà més força sobre la bomba dreta. En la figura anterior podem veure la situació del repartidor i les varetes de les bombes amb el repartidor ajustat per tal d'aplicar més pressió a la bomba posterior.

Sensors

Els vehicles elèctrics s'utilitzen sensors per determinar el desplaçament de l'accelerador, que després s'extrapola a la potència perquè el motor giri.

Per altra banda, el pedal de frenada també incorporà un sensor per determinar quan el pedal està sent accionat i en conseqüència il·luminar la *brakelight*.

Motlles de retorn

Es l'element encarregat de retornar el pedal accelerador a la seva posició inicial un cop el pilot hagi deixat d'exercir força sobre el pedal; en el cas del pedal de fre, les bombes retornen el pedal a la seva posició de descans de forma automàtica.

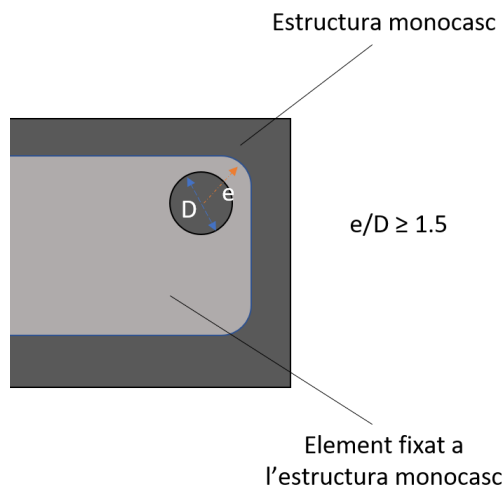
3.2. Normativa a atendre

La normativa de la competició està establerta per l'organització de Formula Student, la qual tracta d'un extens document anomenat *Rules 2018*, el qual regula tant el disseny del monoplaça, com el desenvolupament de les competicions

Pel que concerneix aquest document, la normativa fa certes referències a quant al sistema de pedals i al seu conjunt (Annex A). Aquestes s'hauran de tindre en consideració al llarg de tot el treball i el desenvolupament del disseny:

Referències generals:

- ✓ El cotxe ha d'estar equipat d'un sistema de fre capaç de bloquejar les quatre rodes a partir d'un únic control.
- ✓ El sistema de frens ha d'estar format per dues bombes independents. De manera que en el cas d'una fuga o fallida de qualsevol punt del sistema, es mantindria una força de frenada efectiva en almenys dues de les quatre rodes. Cadascun dels circuits hidràulics ha de tenir la seva pròpia reserva de fluid, ja sigui mitjançant dipòsits separats o mitjançant l'ús d'un dipòsit comú.
- ✓ El sistema de pedals, en la seva totalitat, ha d'estar dins del xassís quedant així protegit.
- ✓ Qualsevol junta cargolada en l'estructura monocasc que utilitzi pestanyes o suports, ha de tenir una relació de distància de vora "e/D" d'1:5 o superior. On "D" és igual al diàmetre de



Il·lustració 3.7 Relació de distància de vora "e/D"

l'orifici i "e" és igual a la distància des de la línia central de l'orifici fins a la vora lliure més propera de la llengüeta o el suport.

- ✓ Durant la prova d'*Endurance* (descrita en l'apartat 3.3.2), només tres membres de l'equip, inclòs el pilot, podran estar presents dins l'àrea de canvi de conductors i podran portar les eines necessàries per a ajustar el vehicle per tal d'acomodar el segon pilot en un màxim de tres minuts.

Consideracions en relació al pedal de fre:

- ✓ El pedal de fre ha d'estar dissenyat per a resistir una força de 2 kN sense cap tipus de fallida del pedal o del sistema en conjunt, això podrà ser comprovat per qualsevol dels jutges de la competició, pressionant el pedal amb la força màxima que es pugui exercir.
- ✓ El pedal del fre deu ser fabricat d'alumini, titani o acer.
- ✓ En la vista lateral, cap part del sistema de frens que es munti en la part suspesa del vehicle pot projectar-se per sota de la superfície inferior de l'estructura o monocasc, segons sigui el cas.

Com a mesura de seguretat ha de ser instal·lat en el prototip un interruptor anomenat BOTS (*Brake Over Travel System*). Aquest interruptor deu ser dissenyat de forma que si el sistema de frenada hidràulic funciona de forma incorrecte i el pedal de frenada es desplaça en excés del seu recorregut, el interruptor s'activaria amb la resultant de la parada del monoplaça. En referència a aquest interruptor la normativa diu el següent :

- ✓ El pedal box ha d'estar equipat d'un interruptor BOTS (*Brake Over Travel System*), com a part del circuit de *Shut Down*. Aquest interruptor s'activarà en el cas que el pedal del fre excedeixi el seu recorregut degut a una fallida/ruptura del circuit de frenada, i en conseqüència obriria el circuit de *Shut Down* provocant la parada total del monoplaça.
- ✓ L'actuació repetida de l'interruptor no serà possible, i per tant no permetrà restablir el circuit si no es de forma manual, al mateix temps s'ha de dissenyar de manera que el pilot no pugui restablir-lo.
- ✓ L'interruptor de frenada deu estar implementat amb components analògics, que no incorporin controladors lògics programables, unitats de control o controladors digitals similars.

- ✓ El BOTS ha de ser un interruptor mecànic d'un sol pol (conegut com interruptor de dues posicions) o interruptor individual (tipus push-pull o flip).

Consideracions sobre el pedal accelerador:

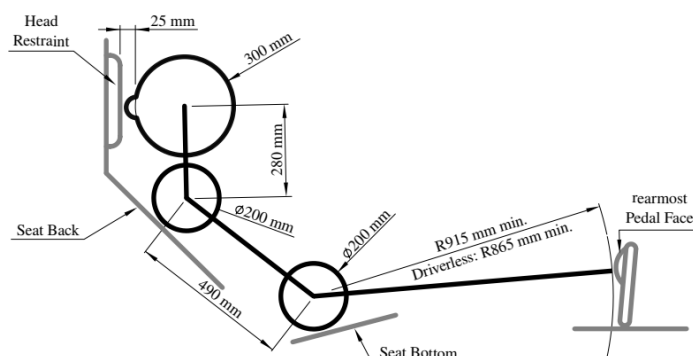
- ✓ El recorregut del pedal accelerador es defineix com el percentatge de desplaçament des d'una posició totalment alliberada de força (0%) fins a una posició on s'aplica per complet (100%).
- ✓ L'accelerador ha d'estar equipat d'un final de cursa mecànic.
- ✓ El pedal accelerador ha d'incorporar dot molles per retornar el pedal a la posició inicial, essent ambdós molles capaços de fer-ho de manera individual.

Els monoplaçes elèctrics a causa de la naturalesa d'un motor elèctric, han d'incorporar un sensor de posició per l'accelerador anomenat APPS (*Accelerator Pedal Position Sensor*), ja que no existeix un cable d'accelerador com en el cas dels motors a combustió. En referència a aquests sensors la normativa diu el següent :

- ✓ Almenys dos sensors separats han d'utilitzar-se com a APPS. Amb diferents línies de subministrament o senyal un de l'altre.
- ✓ En el cas que s'utilitzin sensors de tipus analògic aquests deuen tindre diferents funcions de transferència. Cadascun d'ells amb un sentit positiu de pendent, amb gradients diferents un de l'altre. Això assegurarà que en el cas de curtcircuit de les línies senyals, els APPS no acceptaran una posició de pedal del 0%.

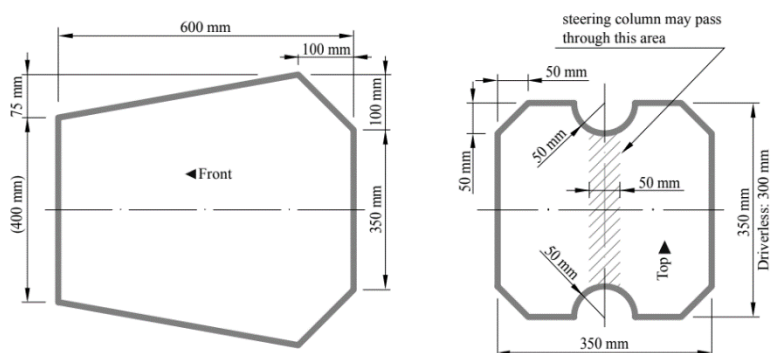
Espai dins el cockpit:

- ✓ Tal i com es mostra a la imatge (Il·lustració 3.8), amb el pedal box en la posició més avançada possible (*most forward position*), la cara més propera al pilot dels pedal ha d'estar distar d'un mínim de 915 mm respecte el cercle de 200 mm del 95th percentil.



Il·lustració 3.8 Mides percentil 95th masculí

- ✓ La plantilla "Cockpit Internal Cross Section" ha d'avançar fins 100 mm per davant de la cara més propera dels pedals al pilot quan els pedals es trobin en la seva posició més avançada.



Il·lustració 3.9 Plantilles Cockpit Opening (esquerra) i Internal Cross Section (dreta).

3.3. Consideracions de la competició

La caixa de pedals d'un monoplaça de Formula Student és un sistema que afecta directament a la fiabilitat, la performance i al disseny del monoplaça en conjunt. En conseqüència, té impacte directe sobre el global de punts que pot obtenir l'equip en les diverses proves que constitueixen la competició, ja siguin estàtiques o dinàmiques.

3.3.1. Proves Estàtiques

Les proves estàtiques tenen com a objectiu avaluar totes les característiques de disseny del cotxe i posar a prova les capacitats dels estudiants de defensar les seves idees, dissenys i decisions davant un grup de jutges. Per altra banda cal presentar un pressupost per a la construcció del monoplaça i un pla de negocis, per tal d'avaluar la capacitat que té l'equip per dissenyar de manera efectiva i sistemàtica, tenint en compte tots aquells aspectes que repercutiran en el monoplaça.

Totes aquestes àrees es veuen afectades pel conjunt del pedal box. Si el sistema de pedals es extremadament pesat, l'equip perdrà punts. Si el disseny té errors en fonaments d'enginyeria per recolzar el disseny, l'equip perdrà punts. Si l'assemblatge està fabricat de forma poc documentada i poc intuïtiva, l'equip perdrà punts. No obstant això, si el disseny és lleuger, està ben documentat i es fabrica de la forma més eficaç possible, l'equip obtindrà punts.

3.3.2. Proves Dinàmiques

Pel que fa a les proves dinàmiques, és important que el disseny sigui el més fiable i funcional possible. És important que el pilot tingui un control precís i conscient sobre la resposta de l'accelerador i el fre per tal de garantir el temps més ràpid possible en qualsevol de les proves. Aquestes es divideixen en:

- ❖ **Acceleration:** es mesura el temps d'acceleració del vehicle en una recta de 75 m.
- ❖ **Skid-Pad:** s'avalua la capacitat del vehicle per suportar acceleracions laterals en un circuit en forma de "8". Aquí es posa a prova l'acompliment del sistema de suspensió i la dinàmica vehicular del cotxe.
- ❖ **Autocross:** en aquesta prova els equips tindran 4 oportunitats per completar en el menor temps possible un circuit elaborat per la competició. La puntuació en aquesta determinarà el temps de sortida en la prova principal de les dinàmiques, l'Endurance.
- ❖ **Endurance:** és la prova reina de tota la competició, es realitza sobre un circuit d'1 Km de longitud on s'han de completar 22 voltes, realitzant un canvi de pilot al final de la volta 11. L'objectiu d'aquesta prova és comprovar la fiabilitat del vehicle, així com l'estratègia de carrera i la gestió de potència.

Durant la prova d'acceleració, és important que la resposta de l'accelerador sigui constant i controlable. Es desitja una resposta lineal entre el recorregut de l'accelerador i el sensor que han de desplaçar-se conjuntament per desenvolupar aquesta linealitat.

Pel que fa a la prova d'Skipad el pilot experimenta altes forces laterals, tot i això deu ser capaç de mantindre en tot moment el controls tant del pedal accelerador com del fre.

Un moment important on el disseny del sistema de pedals té gran rellevància, és en el canvi de pilots que es produeix durant l'Endurance; es deu realitzar un canvi controlat de pilot durant un temps màxim de 3 minuts, en conseqüència, la capacitat d'ajustar ràpidament els pedals és un factor clau perquè el canvi es produeixi en un temps mínim i al mateix temps assegurant una bona posició de conducció per a qualsevol dels pilots.

Cal tindre en compte que segons marca la normativa només tres membres de l'equip incloent el pilot, poden entrar a l'àrea de canvi. Per tant, el disseny del sistema ha d'estar fet perquè es pugui modificar de forma eficaç per una o com a molt dues persones.

4. Anàlisi de disseny

En aquest capítol s'esmentaran els objectius marcats per al disseny del sistema, per a continuació presentar les consideracions ergonòmiques que s'han tingut en consideració per al posicionament i la geometria dels pedals; per últim s'estudiaran les possibles configuracions que pot adoptar els diversos elements sistema, per tal d'escollir la opció més òptima i que s'adapti més en concordança als objectius de l'equip.

4.1. Objectius de disseny

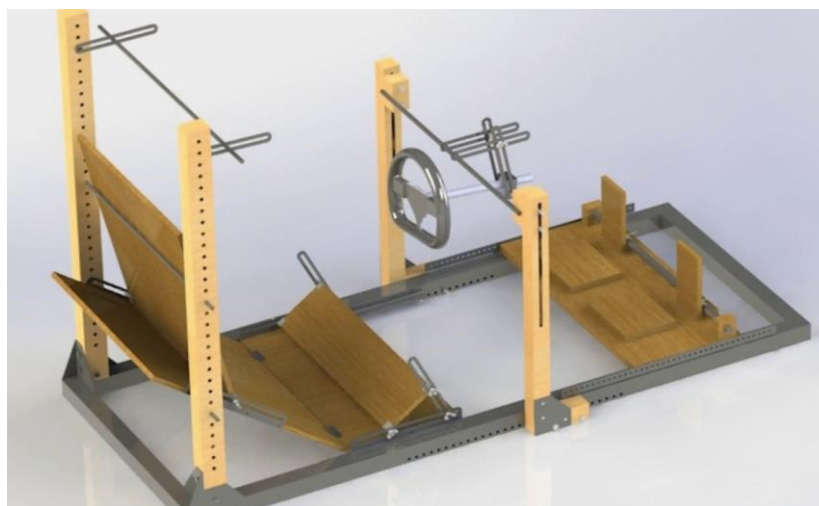
El objectius del departament d'ergonomia i fent referencia al disseny del sistema de pedal box per la temporada 2017/18, són els següents:

- Compliment de la normativa de la competició imposada per Formula SAE.
- Adaptació del sistema a la nova configuració de xassís proposada pel departament de monocasc.
- Incorporació d'un sistema ajustable, per tal d'augmentar la comoditat dels pilots i en conseqüència millorar l'ergonomia.
- Volum mínim possible del conjunt per tal de facilitar la instal·lació del mateix dins l'estructura monocasc, així com facilitar les tasques de manteniment i la regulació de mateix.
- El sistema de pedals ha de ser ajustable per una sola persona en un temps inferior als 30 segons.
- Reducció de pes tenint en compte al mateix temps requisits com: resistència, rigidesa, fiabilitat i capacitat de fabricació.
- Disposar el centre de gravetat del conjunt el més baix possible.
- Simulació dels components principals que formen el sistema amb l'objectiu de verificar el seu disseny i la seva fabricació.

4.2. Consideracions ergonòmiques

Aquest projecte és en gran part de disseny mecànic, tot i que el sistema de pedals al ser un sistema que interactua directament amb el pilot, és important que es localitzi de forma correcta per tal que funcioni d'acord amb el cos humà. Es per tant, que també és necessari un estudi ergonòmic que s'ha de tindre en consideració.

Amb l'objectiu de determina la ubicació òptima del pilot a l'hora de conduir, en primera opció es va plantejar la fabricació d'una estructura de fusta totalment ajustable (il·lustració 4.1) anomenada esquelet d'ergonomia o esquelet ergonòmic.



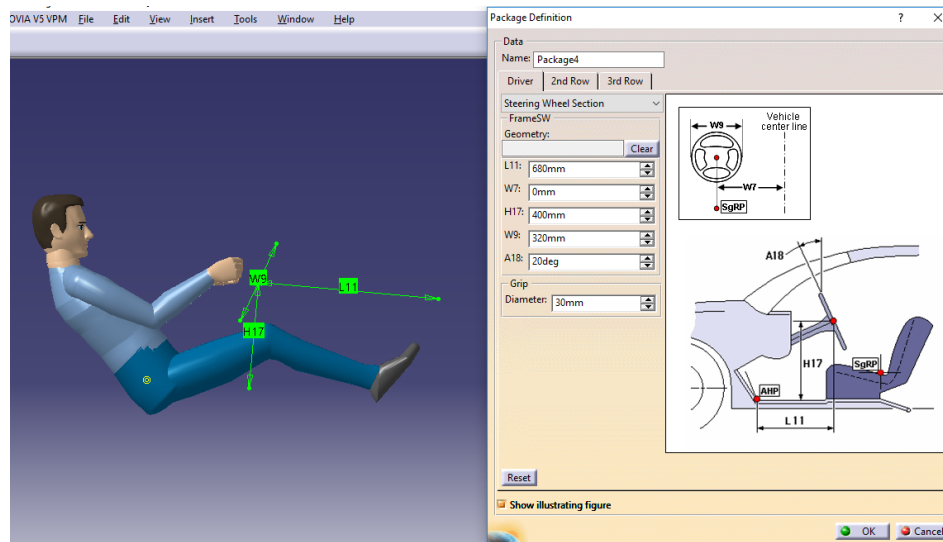
Il·lustració 4.1 Esquelet ergonòmic

Aquesta estructura permet un estudi precís d'on han d'anar localitzats els diferents sistemes que interactuen amb el pilot (dashboard, seient, volant, caixa de pedals, proteccions...); fa possible l'angle del respall i les diverses distàncies per tal d'arribar a la posició òptima de conducció. Al mateix temps permet tindre un *feedback* directe dels pilots i quina es la posició en la qual se senten més còmodes.

Al ser un sistema complex i a falta de temps per a la fabricació d'aquest, es va optar per l'opció d'utilitzar el mòdul d'ergonomia que ofereix el software CatiaV5 (Dassault Systems).

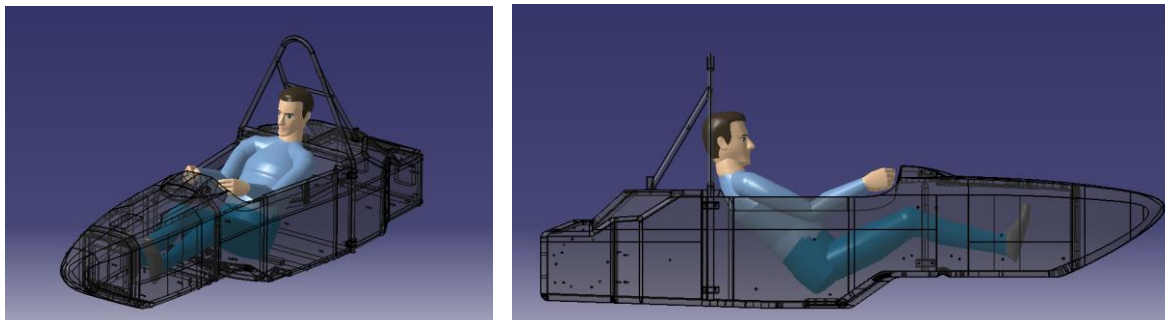
4.2.1. Posada en posició de conducció

A través del el mòdul d'automoció que disposa CatiaV5 dins el mòdul *Human Builder*, s'introdueix el maniquí definit en posició de conducció:



Il·lustració 4.2 Package definition

A continuació es va adaptar la posició a través de l'eina *Manikin Posture* per tal d'ajustar-lo a la estructura monocasc dissenyada pel departament de xassís, mantenint en tot moment el centre de gravetat el més baix possible.



Il·lustració 4.3 Posicionament del dummy dins l'estructura monocasc

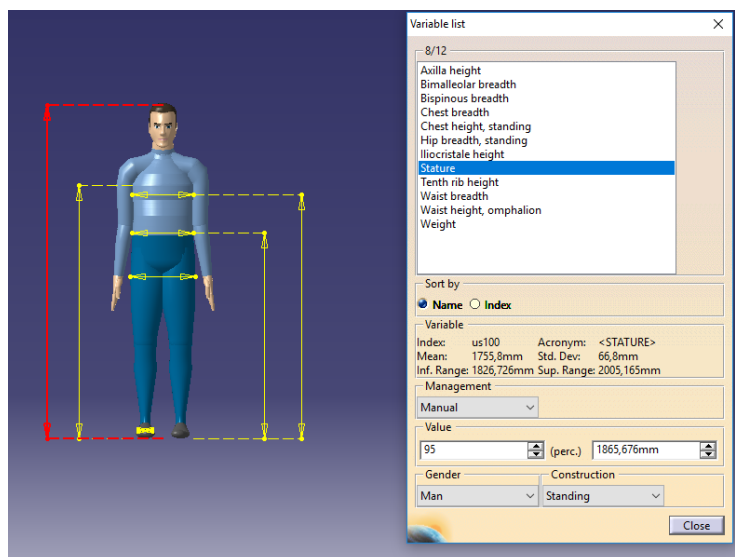
Un cop introduït el *dummy* dins l'estructura monocasc, es defineixen les limitacions angulars i els angles preferits a cada grau de llibertat de cadascuna de les articulacions que es tindran pressents i referents al sistema de pedal·laria.

4.2.2. Mòdul d'ergonomia CatiaV5

CatiaV5 és un programa de disseny, fabricació i enginyeria, assistit per ordinador. És un software desenvolupat per proporcionar suport des de la concepció del disseny fins a la producció, passant per

l'anàlisi de productes. Els estudis d'ergonomia i confort es realitzen amb el mòdul *Ergonomics design and Analysis*.

Ergonomics design and Analysis és un conjunt de solucions sobre CatiaV5 que permet l'estudi i simulació dels aspectes ergonòmics d'un maniquí.



Il·lustració 4.4 Panell de configuració per un dummy a través de CatiaV5

Permet visualitzar i definir posicions típiques de treball per a maniquins, amb diferents paràmetres antropomòrfics. Per a això, existeix una base de dades on el software permet escollir el perfil del maniquí, segons la població i el percentil que es desitgi.

El maniquí o més conegut a la indústria com *dummy*, és el punt central de l'estudi i ha de representar de manera més realista possible el pilot, en les seves dimensions físiques i els seu comportament dinàmic.

A continuació es descriurà la forma en que s'ha definit el *dummy* pertinent per poder realitzar l'estudi. No obstant, prèviament s'introduirà els concepte d'antropometria i les mesures que s'han seguit per definir aquest.

Antropometria

L'antropometria és la disciplina que descriu les diferències quantitatives de les mesures dels diferents segments corporals de les persones; estudia les dimensions prenent com a referència diferents estructures anatòmiques, i serveix d'eina a l'ergonomia a fi d'adaptar el mitjà a les persones, per establir una relació compatible i harmònica entre aquestes i el seu entorn.

És important entendre que el cos humà no està estandarditzat, es per això que per analitzar la posició adequada del sistema, s'utilitzarà el percentil 95th masculí percentil, donat per normativa

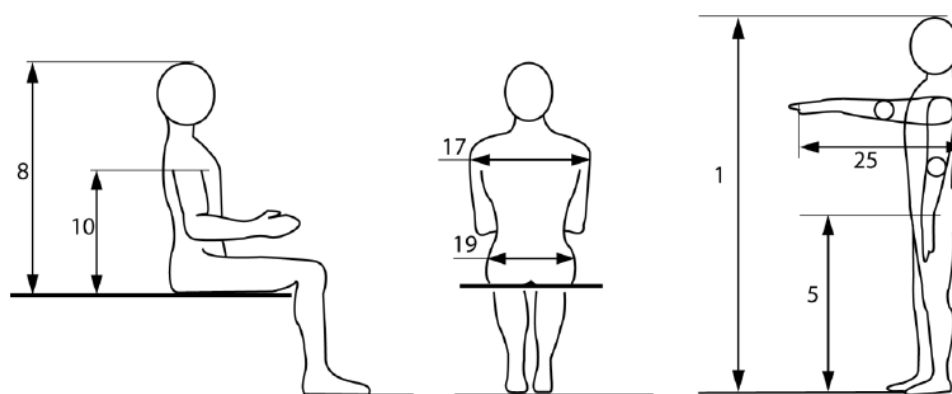
Taula antropomètrica utilitzada

El *dummy* a utilitzar es defineix segons la taula antropomètrica proporcionada per la normativa FSAE, mostrada a continuació:

Taula 1 Taula antropomètrica proporcionada per normativa FSAE

Dimension #	Dimension	Measurements			
		95th Percentile Male		5 th Percentile Female	
		Metric	Imperial	Metric	Imperial
	Weight	102 kgs	225 #	49 kgs	108 #
1	Standing Height	186.5 cms	73.4 ins	151.5 cms	59.6 ins
5	Hip Height	100.0 cms	39.4 ins	74.0 cms	29.1 ins
8	Erect Sitting Height	97.0 cms	38.2 ins	79.5 cms	31.3 ins
10	Sitting Shoulder Height	64.5 cms	25.4 ins	50.5 cms	19.9 ins
17	Sitting Shoulder Width	50.5 cms	19.9 ins	37.5 cms	14.8 ins
19	Hip Width	40.5 cms	15.9 ins	31.0 cms	12.2 ins
25	Shoulder Grip Length	71.5 cms	28.1 ins	55.5 cms	21.9 ins
30	Foot Length - bare	28.5 cms	11.2 ins	22.0 cms	8.7 ins
31	Foot Width - bare	11.0 cms	4.3 ins	8.5 cms	3.3 ins

En aquesta taula es defineixen les dimensions antropomètriques més rellevants per un percentil 95th masculí i el percentil 5th femení.

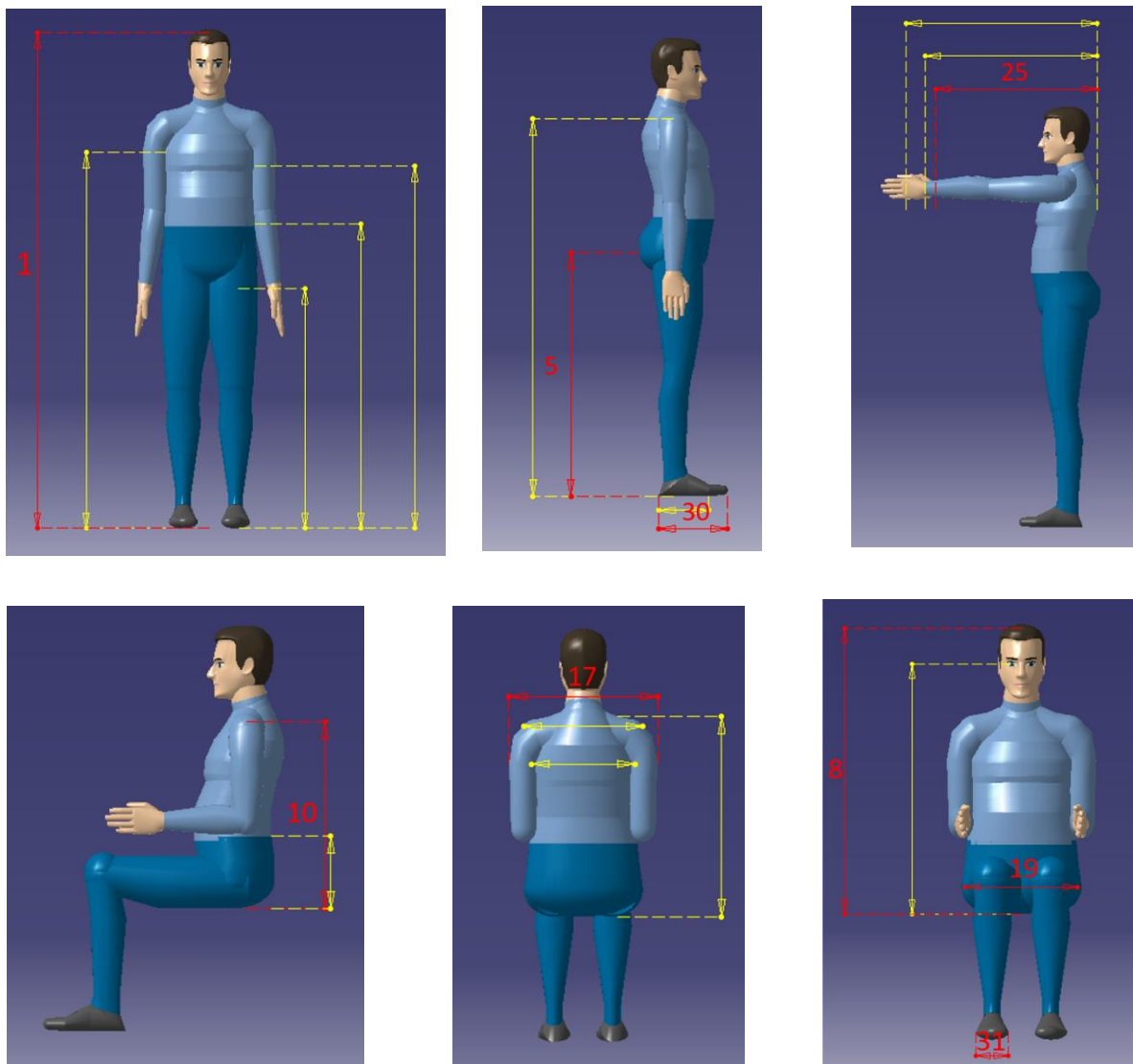


Il·lustració 4.5 Diagrama mesures bàsiques (FSAE)

Seguidament la normativa incorpora un diagrama mostrat a continuació on el números fan referencia als valors de la columna esquerra de la taula adjunta anteriorment ("Dimension#").

A partir de la taula antropomètrica exposada podem llavors definir el *dummy* percentil 95th masculí a partir del mòdul d'ergonomia de CatiaV5.

A continuació es mostren en vermell aquelles mesures que han estat definides en concordança amb les dades antropomètriques donades anteriorment per normativa.



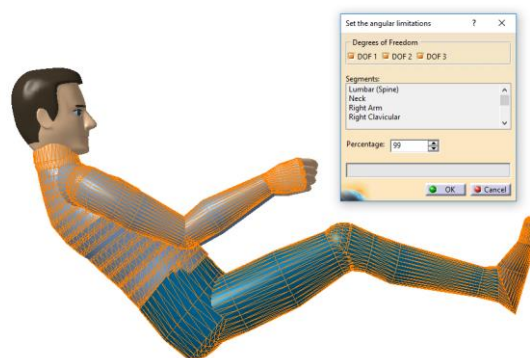
Il·lustració 4.6 Definició dummy percentil 95th

Un cop definit el *dummy* i amb la finalitat d'extreure resultats representatius de la realitat, el maniquí de l'estudi es posicionarà en la posició de conducció de manera més realista possible.

4.2.3. Angles de comoditat i limitacions angulars

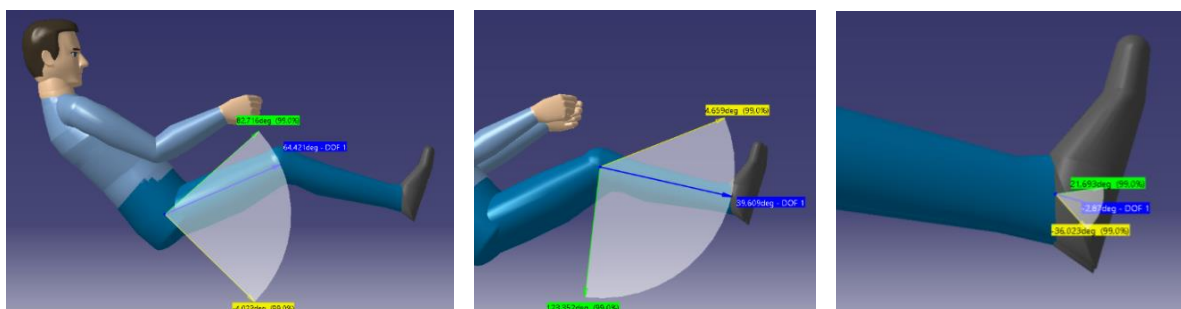
Els estudis de confort i ergonomia utilitzen l'anàlisi dels angles dels diferents segments del cos per avaluar les postures adoptades. La determinació de la cinemàtica corporal se centra sobre les limitacions angulars i la noció d'angles de confort.

A partir del mòdul de limitació d'angles de conformitat, permet limitar els angles de les articulacions a un percentil de comoditat a lliure elecció. En el cas del posicionament en un monoplaça, al ser una posició en la major part estàtica i on no s'han de realitzar moviments de gran amplitud, s'atribueix un rang de 99% de comoditat en el rang de totes les articulacions.



Il·lustració 4.7 Definició rang comoditat de 99,99% a tota articulació

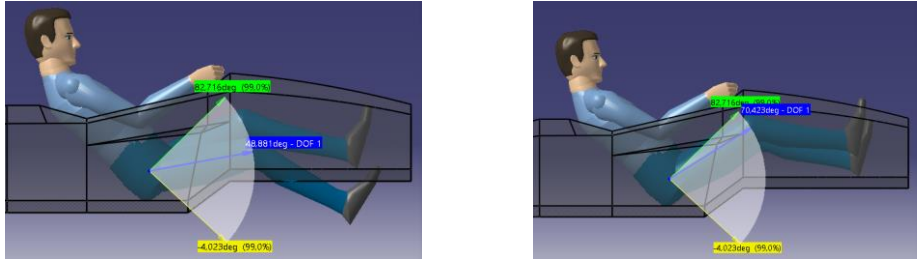
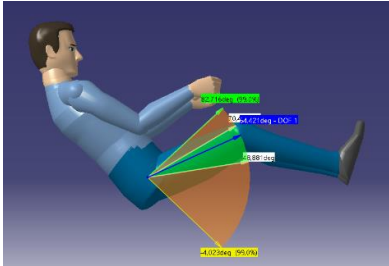
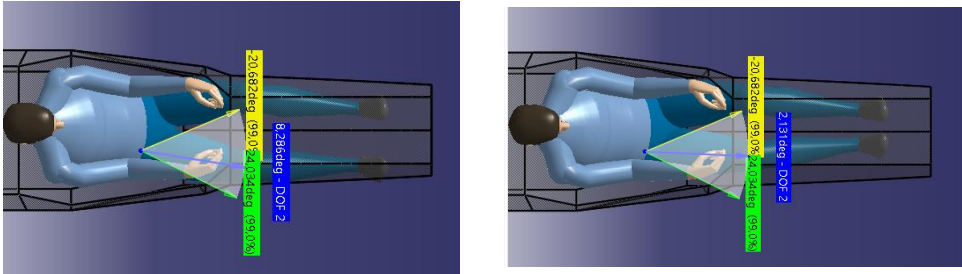
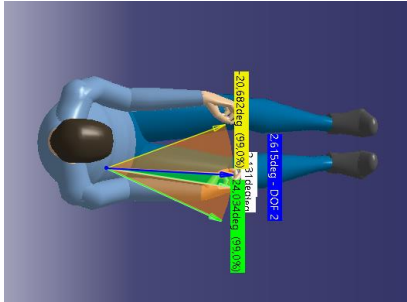
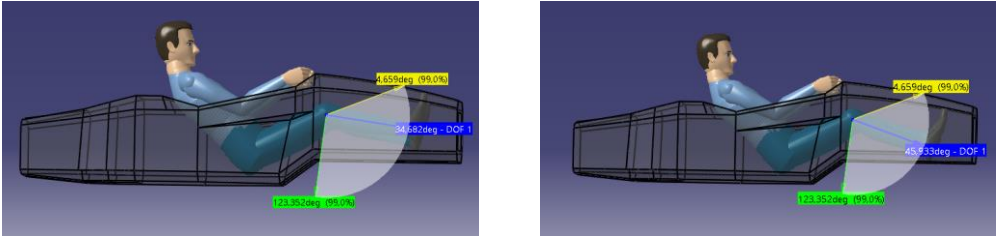
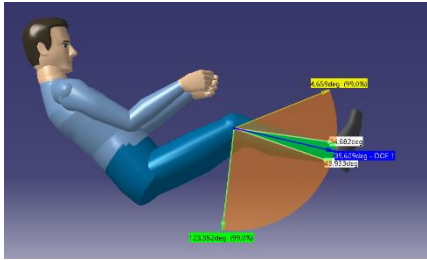
A partir d'aquí, l'estudi se centrarà en el posicionament de les extremitats inferiors; es per tant, que s'extrauran el angles de comoditat més rellevants en referencia a la posició de les cames, posició dels peus, i el recorregut angular que recorre el peu per tal de determinar els graus que haurà de tindre el pedal accelerador.



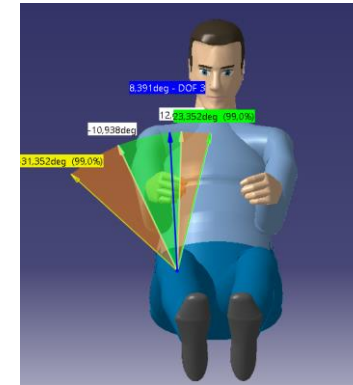
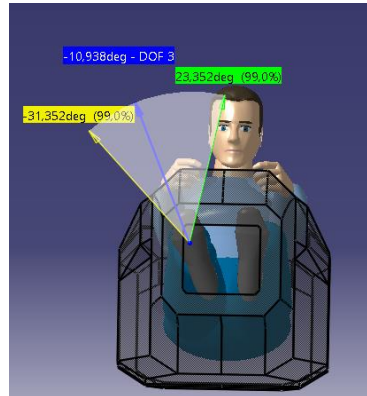
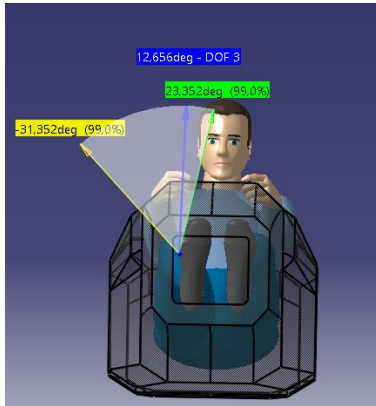
Il·lustració 4.8 Articulacions a tindre en consideració per al posicionament del sistema

Al estar el pilot dins el monocasc i ser un espai limitat de moviment, a continuació es determinaran les restriccions de mobilitat per la cama, genoll i turmell tenint en compte l'estructura monocasc:

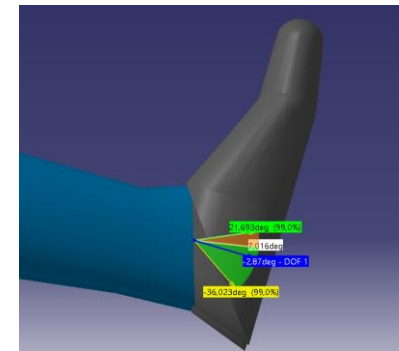
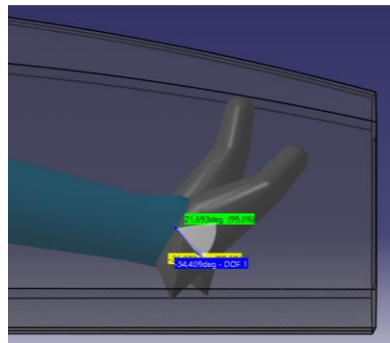
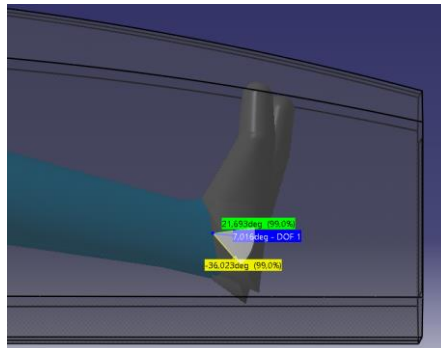
Taula 2 Limitacions angulars restringides per l'estructura monocasc

<p>Limitacions superior e inferior flexió cama</p> 	
<p>Limitacions exterior e interior abducció cama</p> 	
<p>Limitacions superior e inferior flexió genoll</p> 	

Limitacions exterior e interior abducció cama



Limitacions flexió turmell

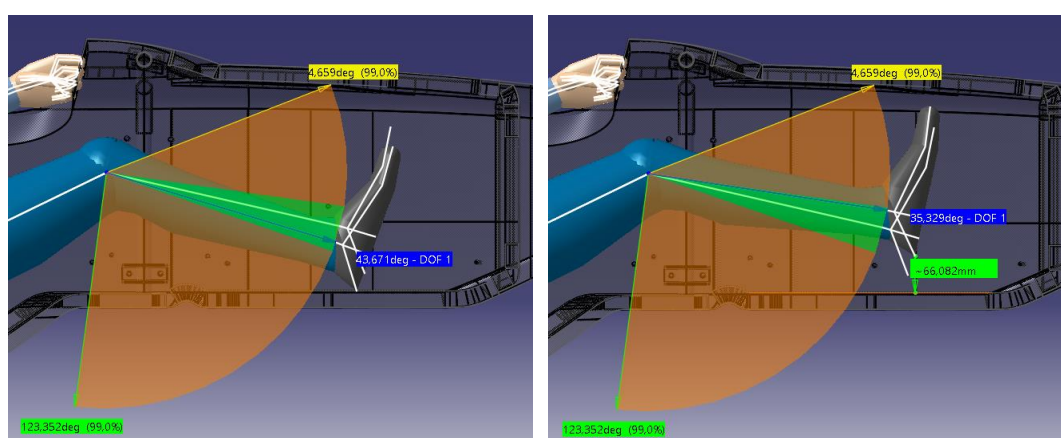


4.2.4. Determinació de les distàncies variants

A partir dels rangs de comoditat analitzats i de les limitacions angulars restringides per l'estructura monocasc, es determinen les distàncies per tal de posicionar el sistema i els elements principals.

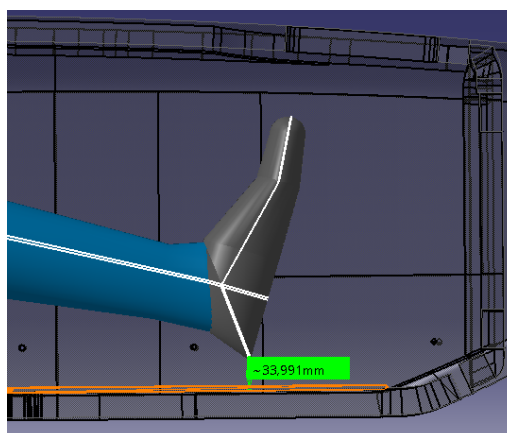
4.2.4.1. Altura del sistema respecte el monocasc

La primera instància afecta a l'altura del sistema. A partir del rang de flexió del genoll i la cama, es defineix la màxima i mínima altura del sistema respecte el sòl del monoplaça i en conseqüència el descans del taló. Per una banda pot ser de 0 mm, es a dir, el taló reposaria sobre l'estructura monocasc o bé 66 mm.



Il·lustració 4.9 Altura mínima (esquerra) i màxima (dreta) possible dins l'estructura monocasc

S'ha de tindre en consideració que un dels objectius de disseny és que la distància dels pedals respecte els pilots sigui regulable, es per tant que serà necessària una altura mínima per tal que el sistema es pugui desplaçar al llarg de l'estructura monocasc. Per altra banda, un dels objectius de disseny és conservar el centre de gravetat el més baix possible. Es per tant que l'altura que s'ha decidit posicionar el repòs del taló és en un punt intermediari entre 25 i 35 mm.



Il·lustració 4.10 Distància de repòs taló respecte el sòl monocasc

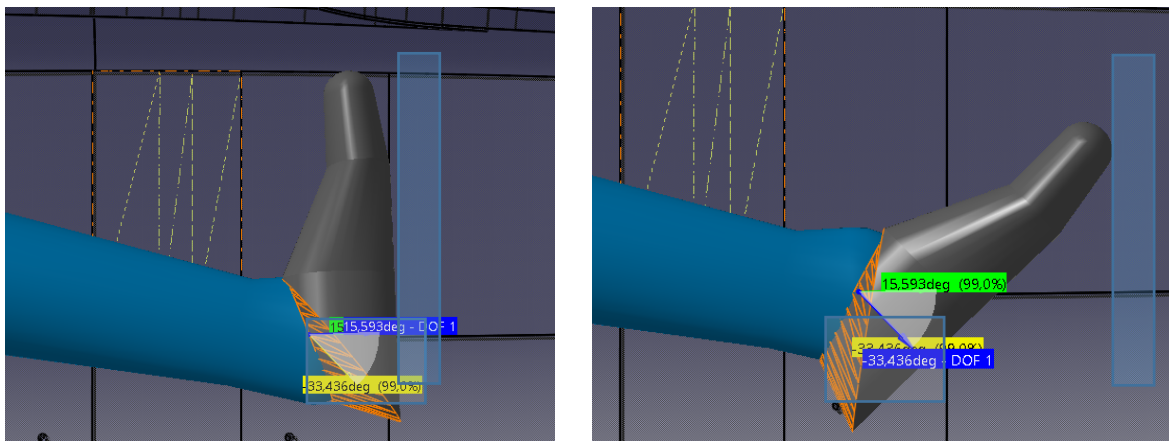
NOTA: Aquesta distància es determina un cop establert que el conjunt anirà acollat al sòl del monocasc tal i com es descriu en l'apartat 4.3.1, al ser aquesta la disposició que afavoreix un centre de gravetat baix.

4.2.4.2. Recorregut de funcionament

En observar el funcionaments dels pedals, és necessari un punt fix sobre el qual el taló pugui descansar i proporcionar un punt de pivot des del qual s'aconsegueixi el balanceig del peu per a crear un moment entre el centre de rotació del turmell i el descans del taló.

Comentar prèviament que per qüestions de facilitar el disseny, es decideix una alineació vertical dels pedals entre la superfície de contacte i el suport del taló, en quan aquests es troben en posició de repòs.

El posicionament del taló marca en gran part l'angle inicial en que es posicionaran els peus un cop el pilot estigui en posició de conducció, i en conseqüència l'angle de funcionament dels pedals. Si es posiciona el suport del taló massa lluny del pilot, els pedals poden estar més enllà de l'abast còmode, i la posició inicial dels peus serà excessivament flexionada (Il·lustració inferior– dreta). Per altra banda, si el suport del taló es troba en una posició massa pròxima, el peu no podrà flexionar prou i posteriorment aplicarà abans que el taló toqui el suport. (Il·lustració inferior– esquerra).



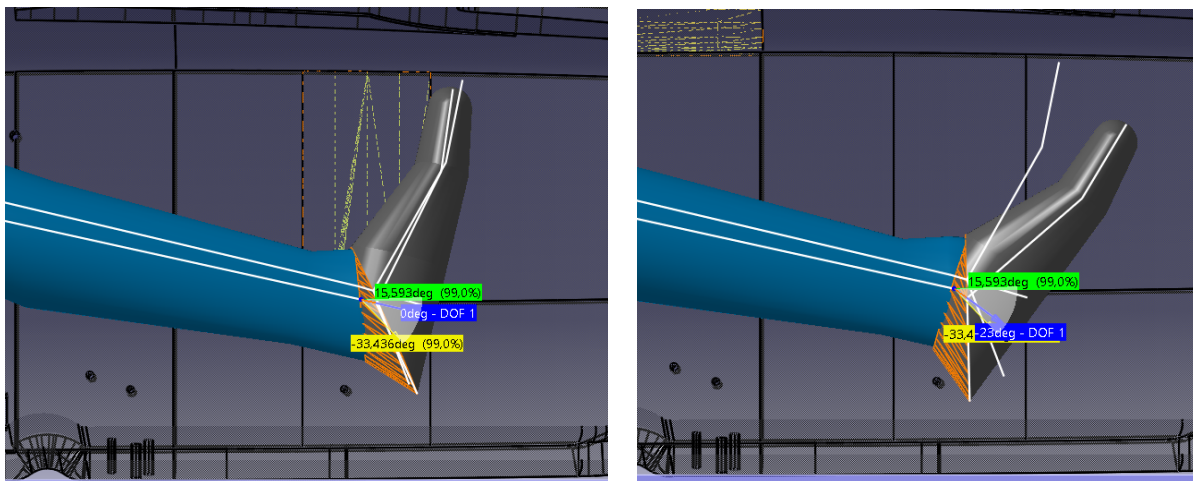
Il·lustració 4.11 Posicionament del taló

L'extensió del peu des d'un angle neutral de 90° del turmell respecte la tibia, té un rang comoditat de -15° (direcció de la punta cap al pilot) a 33° en direcció longitudinal del monocasc.

S'ha de considerar que al situar el pilot en un automòbil estil formula, aquest es troba en una disposició en la qual les cames es troben en una posició quasi horitzontals des del maluc fins als pedals. Un automòbil convencional tindrà al conductor assegut en una posició més elevada respecte els pedals, la qual cosa també requereix diferents rangs de funcionament per a mantenir còmode al conductor.

Es per tant, que en aquesta situació el *feedback* dels pilots de la temporada anterior i actual és de gran importància.

Un cop consultats, es decideix que la posició inicial del peu respecte la tibia sigui de 90° , ja que els resulta més còmode i amb un recorregut de pedal accelerador no excessivament llarg. Al mateix temps, al tractar-se d'un monoplaça de competició, la major part del temps el pedal accelerador està completament pressionat o estat de repòs.

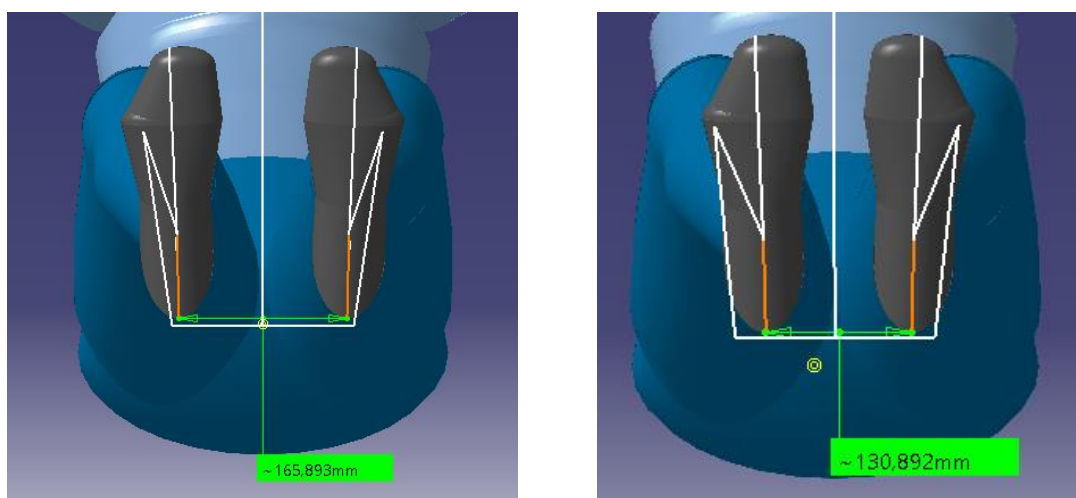


Il·lustració 4.12 Recorregut peu accelerador

Amb aquesta informació coneguda, es decideix que l'angle inicial del pedal sigui de 0° i amb un recorregut de final de cursa de 23° .

4.2.4.3. Distància entre pedals

A partir de l'abducció de la cama i el genoll, es determina la màxima i mínima distància entre cadascun dels pedals: 165 i 130 mm respectivament.



Il·lustració 4.13 Distància màxima (dreta) i mínima (esquerra) entre pedals dins el rang de comoditat

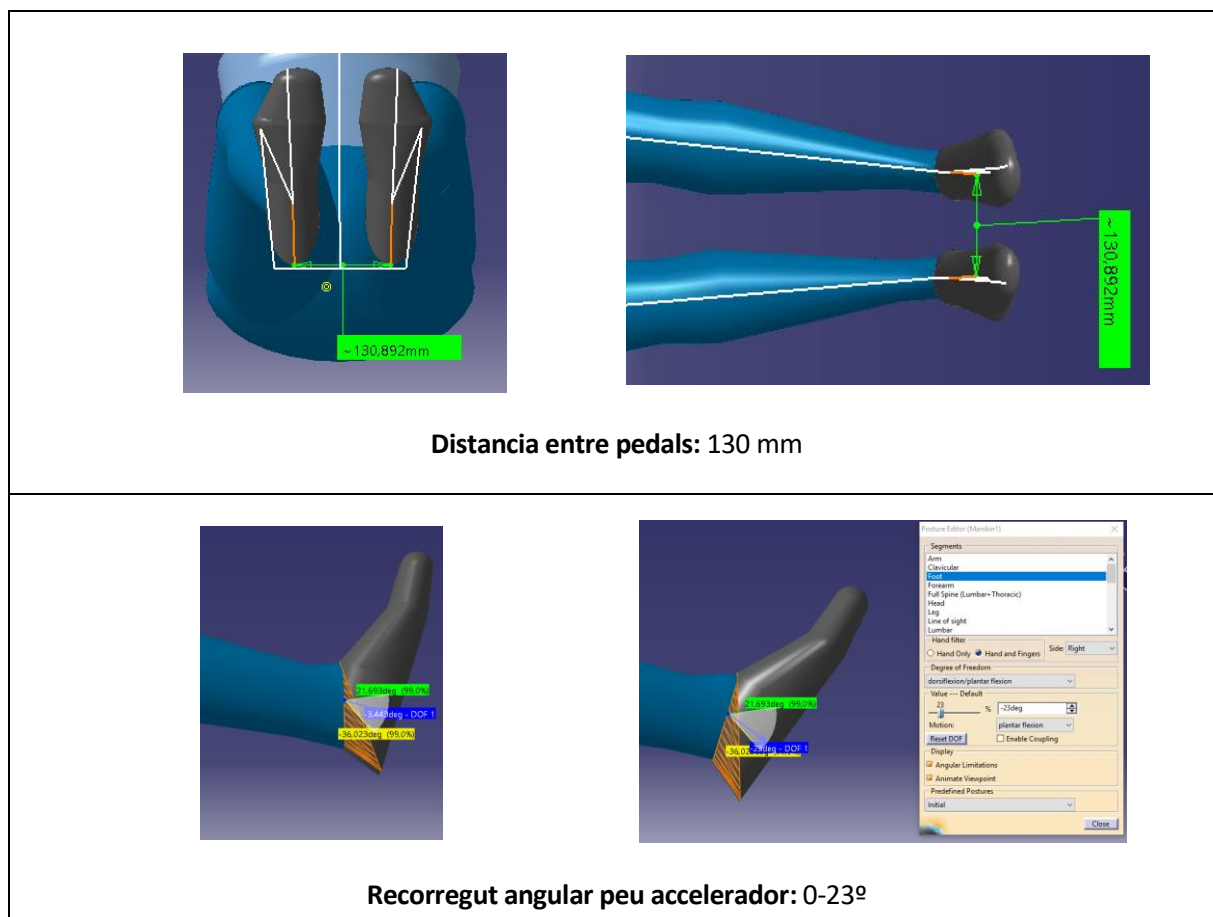
Una de les premisses per part del departament de xassís és que el sistema de pedals sigui el més compacte possible, per tal de facilitar les tasques de manteniment i la regulació de mateix. Al mateix temps es facilita un front de monocasc amb un disseny el més estret possible i en conseqüència obtenint un estalvi de material i una millora en la performance aerodinàmica del monoplaça.

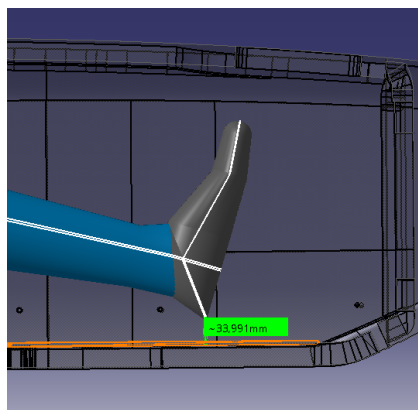
Es per tant, que la distancia escollida ha estat la més estreta possible que és de 130 mm.

Per últim capuntar que els pedals aniran disposats de forma que el seu angle de funcionament sigui en el eix longitudinal del monoplaça.

A continuació es mostra una taula amb les distancies més rellevants i que es tindran en consideració a l'hora de disseny i la localització dels pedals:

Taula 3 Distancies ergonòmiques en consideració





Altura del Conjunt respecte la cara inferior del monoplaça: 25-35 mm

En el cas dels equips de Formula Student els pilots passen un temps màxim dins del cockpit en conducció entre uns 15-25 minuts, referent a la prova més llarga de la competició (*Endurance*). L'estudi realitzat, permet tindre una aproximació de quin ha de ser el posicionament adequat del sistema; així com assegurar una comoditat mínima a l'hora conduir el monoplaça. Però en cap cas es vol comparar amb els estudis realitzats en automòbils convencionals; aquests han de permetre una conducció còmode durant un llarg període de temps, i per tant requereixen d'estudis més exhaustius i complets que podrien donar per tot un treball sencer.

4.3. Possibles configuracions

Atenent a les proves descrites anteriorment, els equips plantegen en el seus dissenys, sistemes orientats cap a la fiabilitat, innovació, eficiència i seguretat. Aquests factors són de gran importància ja que ajuden a transmetre al conductor confiança i control, que són valors importantíssims per a l'èxit en qualsevol prova.

Analitzant les solucions que adopta cadascun dels equips participants, es pot comprovar que tots comparteixen els mateixos trets quant a components i funcionament es tracta, excepte determinades variants que s'aniran identificant en aquest apartat.

A causa d'aquest ventall de possibilitats, es plantegen una sèrie de dubtes que s'han de discutir i valorar per obtenir la solució més adequada per al sistema en concordança als objectius de disseny i la resta de departaments.

A continuació s'explicaran les diferents possibilitats que existeixen per a la construcció del prototip destacant les característiques més importants de cadascuna de les instal·lacions per poder comparar i arribar a la solució final.

4.3.1. Disposició del conjunt

Pel que fa al allotjament del conjunt pedal box, es diferencien dues posicions principals: a la cara superior, o bé a la inferior o sòl del monocasc:

4.3.1.1. Pedalaria assemblada a la cara superior del monocasc

Quant a funcionament i eficiència és semblant a qualsevol altre configuració, el desavantatge que pot causar en comparació, és que la major part de la seva massa es concentra en la part superior, ja que és on estaran situades les bombes de frens, dipòsits i el líquid de frens que els mateixos continguin. Es per tant, que pel que fa a la reducció del CG és pitjor opció a la de pedal sobre el sòl.



Il·lustració 4.14 Pedalaria assemblada a la cara superior (TILTON)

Per altra banda, un dels majors problemes que presenta aquesta disposició és la difícil implementació d'un sistema per tal d'ajustar els pedals a la distància adequada pel pilot. En la majoria de casos, els equips que utilitzen aquesta disposició, mantenen el sistema fixa, i en contraposició implementen un seient que permeti regular la seva distància respecte els pedals. A tot això se li suma que el seu accionament crea un moviment menys natural per al peu.

4.3.1.2. Pedalaria assemblada al sòl del monocasc

Es l'ús més corrent entre els equips participants atès que aporta alta eficàcia en el seu funcionament i ergonomia, ja que la seva disposició d'accionament afavoreix a l'arc natural que realitza el turmell, fet que és important per millorar la frenada. El seu avantatge principal, és el baix centre de gravetat ja que a causa de la seva distribució de masses aquestes es concentren en la seva part inferior.



Il·lustració 4.15 Pedalaria assemblada part inferior monocasc

Una altra dels avantatges principals, és la seva facilitat per implantar un sistema que permeti regular la distància respecte els peus del pilot, i al mateix temps permeti major facilitat a l'hora de regular.

Donat que implantar el sistema de pedals a la cara superior del monocasc donaria molts problemes, s'ha decidit implantar el sistema al sòl, obtenint així un centre de gravetat més baix, així com facilitar el disseny.

4.3.2. Molles de retorn pedal Accelerador

Pel que fa al retorn del pedal accelerador, la tipologia més utilitzades pels equips de Formula Student, són les següents:



Tracció



Pneumàtic

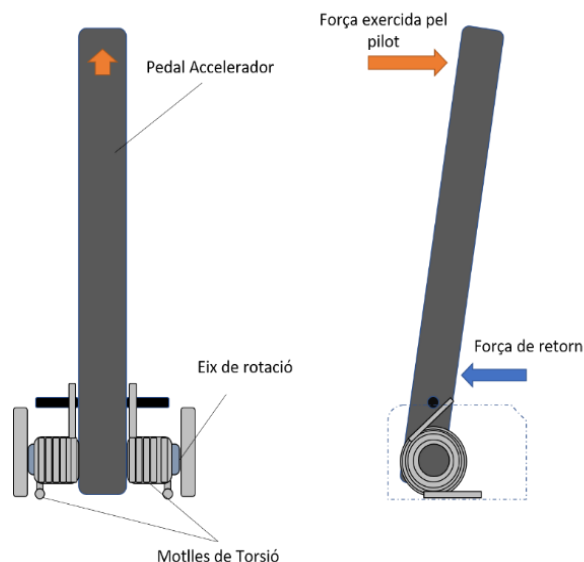


Torsió

Il·lustració 4.16 Molles de retorn

L'amortidor per torsió inclou un eix de rotació en la part inferior del pedal amb un ressort de torsió per retornar el pedal.

Tot i ser el disseny més complicat degut a la elecció de la molla, aquesta és la opció triada al presentar un volum inferior. A continuació es mostra un disseny conceptual per tal d'entendre millor com s'incorpora al sistema:



Il·lustració 4.17 Retorn pedal per motlle de torsió

4.3.3. Disposició de les bombes de fre

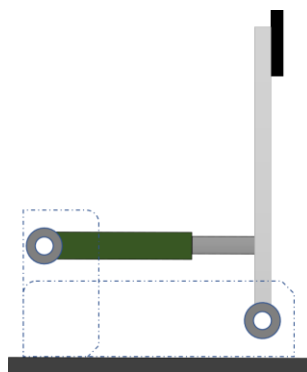
Les diferents posicions que es poden acollir les bombes de frenada al pedal, marcarà en gran part el disseny, la configuració i cadascuna de les peces del sistema que formaran el conjunt fre.

La principal restricció d'aquest disseny es prescriu pel departament de xassís, que sol·licita que es redueixi al màxim l'espai ocupat pel sistema dins el monocasc. Es per això que es van estudiar diverses opcions per valorar quina era la opció més adequada.

Un cop determinat que el nostre sistema anirà assembletat al sòl del monocasc; bàsicament hi ha tres posicions diferents que poden posicionar-se les bombes respecte el pedal: per davant dels pedals, per darrere dels pedals, o en angle.

4.3.3.1. Disposició per davant el pedal

Col·locar els cilindres mestres cap endavant (lluny del conductor) del pedal de fre és la ubicació més convencional entre la majoria dels equips que competeixen en la competència de Fórmula SAE .



Il·lustració 4.18 Configuració bomba en horitzontal

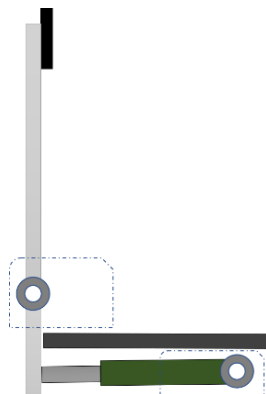
El disseny general és simple i fàcil de fabricar. Les forces són fàcils d'entendre i la relació del pedal es pot calcular simplement prenent la longitud del pedal sobre la distància des del pivot del pedal al punt de fixació de les bombes; això permet regular fàcilment la relació de pedal.

El problema principal que representa aquesta disposició és que el seu resultat d'aquesta és una base excessivament llarga per tal d'adaptar-se a la longitud per davant de la línia dels 915 mm del 95th percentil tal i com marca la normativa. En conseqüència, el monocasc ha de tindre una longitud més llarga, i per tant, s'agrega pes extra al casc a través d'aquest disseny.

Per altra banda hi ha un pes addicional en el disseny, ja que les bombes estan muntats sobre suport de la base, la qual cosa augmenta la complexitat en el disseny del quadre de pedal. Atès que el disseny és simple i no notable, el sistema no guanyarà punts extra en la prova de presentació de disseny de la competició.

4.3.3.2. Disposició per darrere el pedal

Una altra configuració que es va valorar va ser per situar les bombes per sota l'eix de rotació dels pedals.



Il·lustració 4.19 Configuració bomba per sota l'eix de rotació

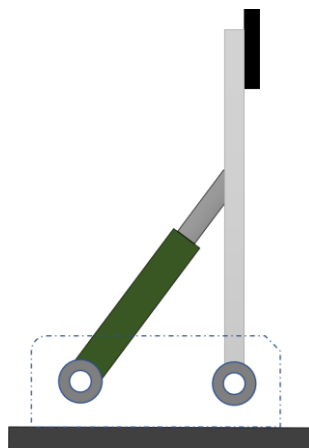
El principal benefici que ofereix aquesta configuració és la reducció en gran part de l'espai ocupat darrere els pedals, i per tant és una configuració que permet ser instal·lada amb facilitat per davant de la línia de 915 mm que marca la normativa. Al mateix temps, permet que el marc s'escurci, disminuint el pes total del monocasc. Si es fa bé, est és un disseny bastant nou, ja que molts equips no ho implanten i podria augmentar el nombre de punts de disseny que obté l'equip.

Tot i això però no ofereix un disseny còmode per la incorporació dels sensors, al mateix temps suposa un increment de la longitud del pedal i en conseqüència un augment de pes i de volum. Al disposar de bombes de tipus compressió, els peus del pilot han de col·locar-se damunt les bombes, i per tant l'altura de la base ha de ser de més alta en comparació a les altres configuracions.

4.3.3.3. Disposició en angle amb el pedal

Disposar les bombes en angle amb el pedal del fre és un disseny poc convencional entre els equips de Formula SAE. El disseny és possible gràcies a les bombes muntades en coixinets esfèrics, aquestes disposen d'un coixinet esfèric en la part posterior que permet que pivoti.

Al estar en angle, les bombes redueixen el seu espai longitudinal i per tant el monocasc es pot escurçar i en conseqüència hi ha una reducció de material i pes. La geometria d'aquesta configuració és molt més complexa que en qualsevol dels altres dos dissenys.

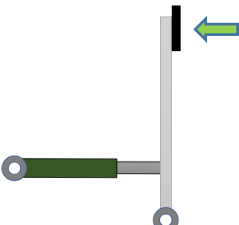



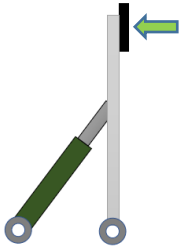
Il·lustració 4.20 Configuració bomba en angle

En general, si es dissenya de forma correcta, pot ser un disseny lleuger i compacte que pot guanyar molts punts per part dels jutges de disseny.

A continuació es mostra una taula-resum amb els diferents avantatges i desavantatges de cadascuna de les opcions estudiades:

Taula 4 Disposició de les bombes

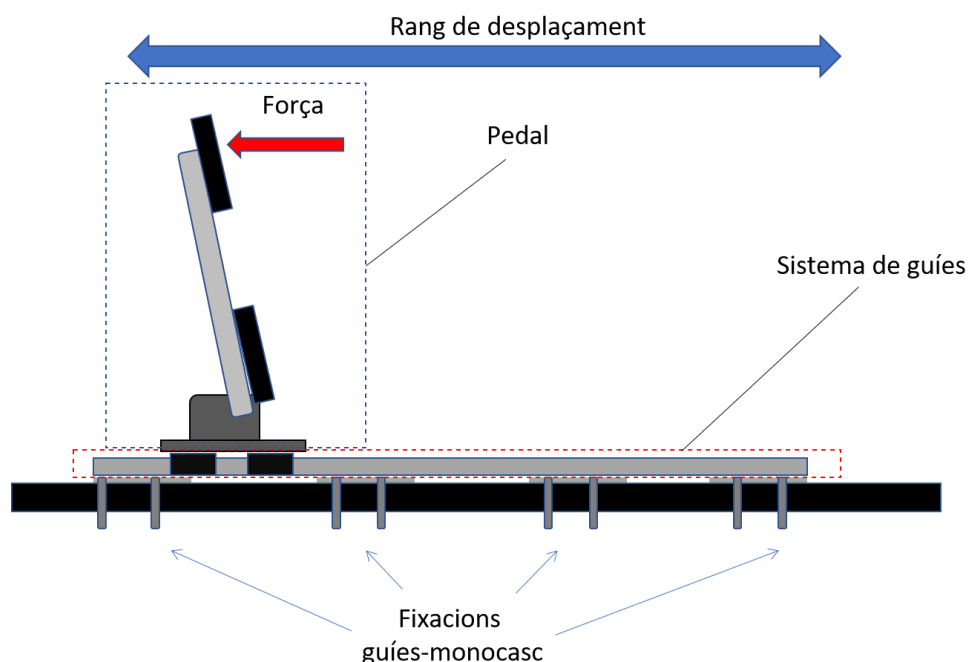
Disposició	Avantatges	Desavantatges
	<p>Disseny senzill</p> <p>Preu baix</p> <p>Fàcil instal·lació en el monoplaça</p>	<p>Augmenten molt el volum ocupat darrere dels pedals</p> <p>S'exerceix major força sobre el pedal</p>
	<p>Redueix al màxim el volum ocupat darrere dels pedals</p>	<p>Redueix l'espai disponible per als peus del pilot</p> <p>Augmenta l'altura del sistema i per tant eleva el centre de gravetat</p> <p>Augment volum del pedal, per tant augment del pes i cost.</p>

	<p>Ofereix la millor relació entre volum disponible darrere del sistema i altura del sistema</p> <p>Fàcil disposició per incorporar el sensor</p>	<p>És el més complex de dissenyar referent a la relació de pedal</p> <p>Menys recorregut del pedal</p>
---	---	--

Davant d'aquest anàlisi s'ha decidit que la forma més òptica de situar les bombes seria en angle, ja que malgrat ser un disseny més complicat, ofereix millors resultats de volum i alçada del sistema.

4.3.4. Sistema d'ajustabilitat

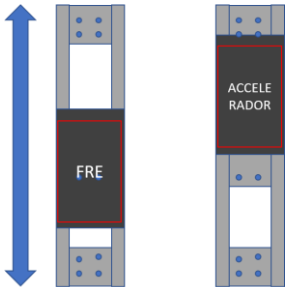
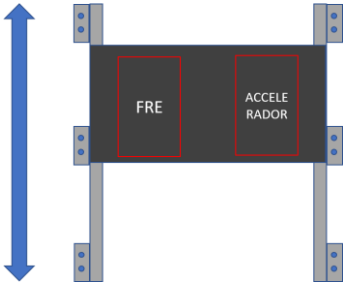
Un dels objectius de disseny és el de dissenyar un sistema que sigui ajustable de forma ràpida i amb facilitat adaptant-se als diferents perfils de pilots. Una de les opcions més utilitzades i més efectives, és la incorporació d'un sistema de guies fixat al monocasc per tal que els pedals es puguin ajustar a la posició adequada al gust del pilot. A continuació es mostra una il·lustració per tal de fer-ho més comprensible:



Il·lustració 4.21 Croquis incorporació de sistema de guies

Aquest sistema es pot implementar de forma independent per a cadascun dels pedals o bé de forma unificada amb una base conjunta. A continuació es mostra una taula amb els avantatges i desavantatges de cadascuna de les dues opcions:

Taula 5 Selecció del sistema ajustable

Disposició	Avantatges	Desavantatges
 <p>Bases independents</p>	<p>Elevat grau personalització al gust del pilots</p> <p>Menys volum del conjunt</p> <p>Fàcil instal·lació dins l'estructura monocasc</p>	<p>Augment de fixacions a l'estructura monocasc</p> <p>Augment del temps d'ajustabilitat</p> <p>Incorporació de frens independents, en conseqüència augment de pes</p>
 <p>Base unificada</p>	<p>Rapida ajustabilitat</p> <p>Reducció de material de fixació</p>	<p>Difícil introducció del sistema dins al conjunt monocasc degut al volum</p>

Finalment, la opció triada ha estat la base unificada, principalment per la seva reducció de pes en comparativa al sistema de guies individuals; considerant que en combinar l'accelerador i el fre a la mateixa base, es redueix el nombre de passadors i fixacions que seran necessaris per sostenir els pedals en el seu lloc. Al mateix temps, una ajustabilitat personalitzada per cadascun dels pedals, no es imprescindible per un monoplaça d'aquets tipus.

5. Procés de Disseny

5.1. Disseny Geomètric

L'objectiu principal del disseny geomètric, és trobar aquella configuració geomètrica més òptima entre els elements principals del sistema i que compleixi amb els requeriments i objectius esmentats. Al mateix temps adaptant-se a les restriccions donades pels components que estan involucrats.

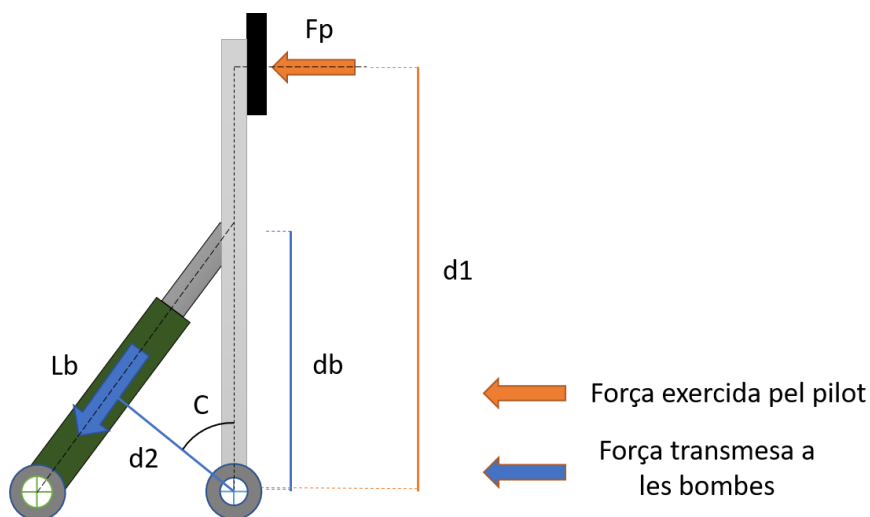
5.1.1. Consideracions restrictives

Un cop definit els objectius i preses les decisions respecte al tipus de disseny a assolir, cal tenir present, les diverses restriccions. Aquestes venen derivades en la major part per els elements predeterminants que disposa l'equip per al sistema de pedalària i dels compromisos amb altres departaments, tanmateix dels requeriments pel correcte funcionament del sistema i compliment de la normativa.

Pedal Ratio

La relació de pedal o *pedal ratio*, és el factor de disseny més important de la caixa de pedalària en relació al sistema de frenada. Depenent de la configuració dels cilindres respecte a la rotació del pedal, la força transmesa pel pilot al sistema de frenada serà diferent.

La relació de pedal es pot calcular de manera diferent segons la disposició de les bombes. Per als cilindres hidràulics muntats en angle, els càlculs de la relació de pedal es basen en una geometria mostrada a continuació:



Il·lustració 5.1 Esquema relació de pedal

És important definir totes les longituds i les distàncies que poden canviar abans de formular les equacions que regeixen el sistema. On F_p és la força exercida pel pilot, i d_1 la distància a la que es troba aquesta força respecte l'eix de rotació del pedal. Anomenem db com la distància vertical la qual estan muntades les bombes respecte el eix del pedal i d_2 a la distància tangent de l'eix de la bomba a l'eix de rotació del pedal.

La longitud de les bombes L_b , va des de el seu punt de rotació fins al punt de fixació on estan muntades amb la *balance bar*. El sistema real és dinàmic a causa de la força exercida pel pilot, per la qual cosa aquesta longitud canvia en funció del angle d'inclinació del pedal (C). Es per tant que el desplaçament del pedal serà variable dependent de la força aplicada. No obstant això, serà un recorregut molt petit degut al poc desplaçament longitudinal de les bombes, pel que pot menysprear-se i considerar-se un sistema estàtic.

La relació del pedal per als cilindres muntats en angle, relaciona la distància que va des de el centre de l'eix de rotació del pedal fins al punt d'aplicació de la força (d_1), amb la distància perpendicular del punt de pivot a l'eix de la bombes (d_2).

Aquesta relació es pot calcular a partir de l'equació:

(Eq. 5.01)

$$\frac{F_b}{F_p} = \frac{d_1}{db \cdot \cos(C)} = \frac{d_1}{d_2} = \text{Pedal ratio}$$

Es per tant que la força efectiva al sistema de frenada vindrà definida per:

(Eq. 5.02)

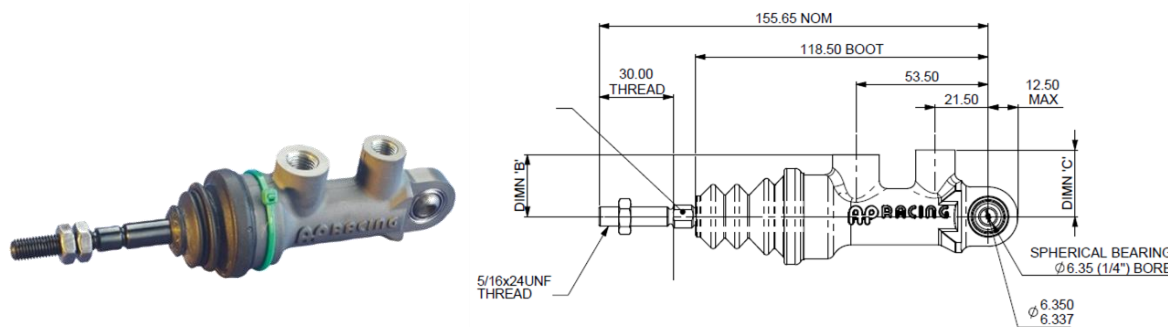
$$\text{Força efectiva} = \text{Força aplicada al pedal} \cdot \text{Pedal ratio}$$

Tenint en compte la força pel pilot per a bloquejar les rodes ha de ser d'aproximadament 445 newtons ; s'estableix conjuntament amb el departament de frens i rodes, una relació de pedal de 4 a 1 per tal de satisfer totes les necessitats. Tenir una relació de pedal més alta augmentaria l'efectivitat de la força aplicada, però també requeriria un major recorregut del pedal i una pobra sensació de frenat.

Es per tant, si s'exerceix una força amb una relació de pedal 4 a 1, la força a l'entrada de les bombes, es veurà amplificada en quatre vegades la força que el conductor exerceixi sobre la superfície d'accionament.

Bombes de fre

Una de les principals restriccions del sistema a dissenyar, és l'elecció de les bombes de fre o cilindres hidràulics. Les bombes de les que disposa l'equip són de la marca APracing, més exactament en model CP7855 mostrades a continuació:

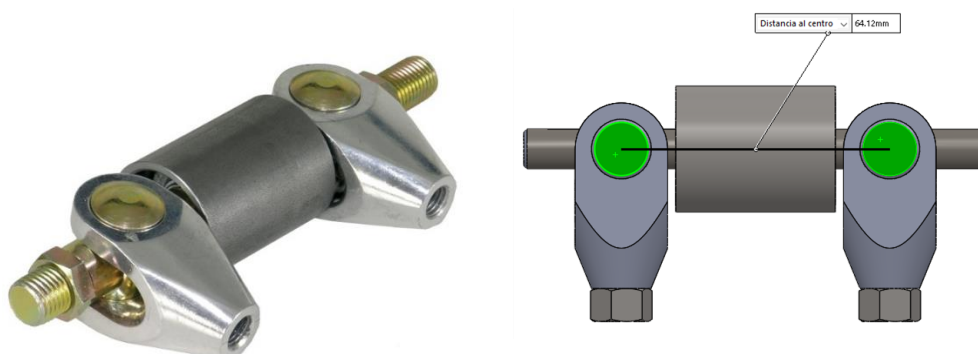


Il·lustració 5.2 Bomba de fren APracing model CP7855 (APracing)

En referència al disseny del pedal de frenada, la longitud de les bombes serà un factor a tindre en consideració. En el cas de les bombes que es disposen, s'ha optat per unir la bomba amb el pistó a la mínima distància, obtenint una bomba de menys longitud i per tant la inserció al pedal serà a una altura més baixa i obtenint una reducció de material i espai. Les característiques de les bombes és mostren a l'Annex C2.

Balance Bar

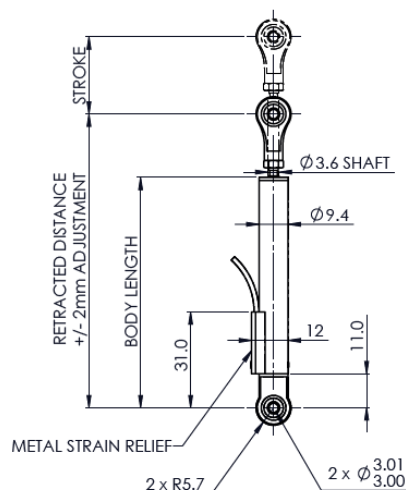
Per al disseny del pedal de fre l'equip disposa d'una *balance bar* de la marca Tilton, més exactament el model 7-250. Amb un diàmetre d'inserció al pedal de la mangueta de pivotatge de 30 mm i una separació entre clevis de 64 mm.



Il·lustració 5.3 Balance Bar Assembly Tilton model 72-250

Sensors

Per al disseny del conjunt es disposen de sensors lineals o potenciòmetres lineals ELPM-25 de la marca Variohm; sensors comuns en els món del motorsport.



	Unit	ELPM							
Order code ¹		12.5	25	50	75	100	125	150	175
Electrical stroke ³	mm	12.5	25	50	75	100	125	150	175
Retracted mounting distance ²	mm	82.5	95	120	145	178	203	228	253
Body length	mm	62.5	75	100	125	153	178	203	228
Resistance +/- 20%	kΩ	1.25	2.5	5.0	7.5	10.0	10.0	10.0	10.0
Independent linearity	+/- %	1	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Weight	gm	24	26	29	33	37	43	46	51

Il·lustració 5.4 Sensor lineal de posició de la marca Variohm (Variohm)

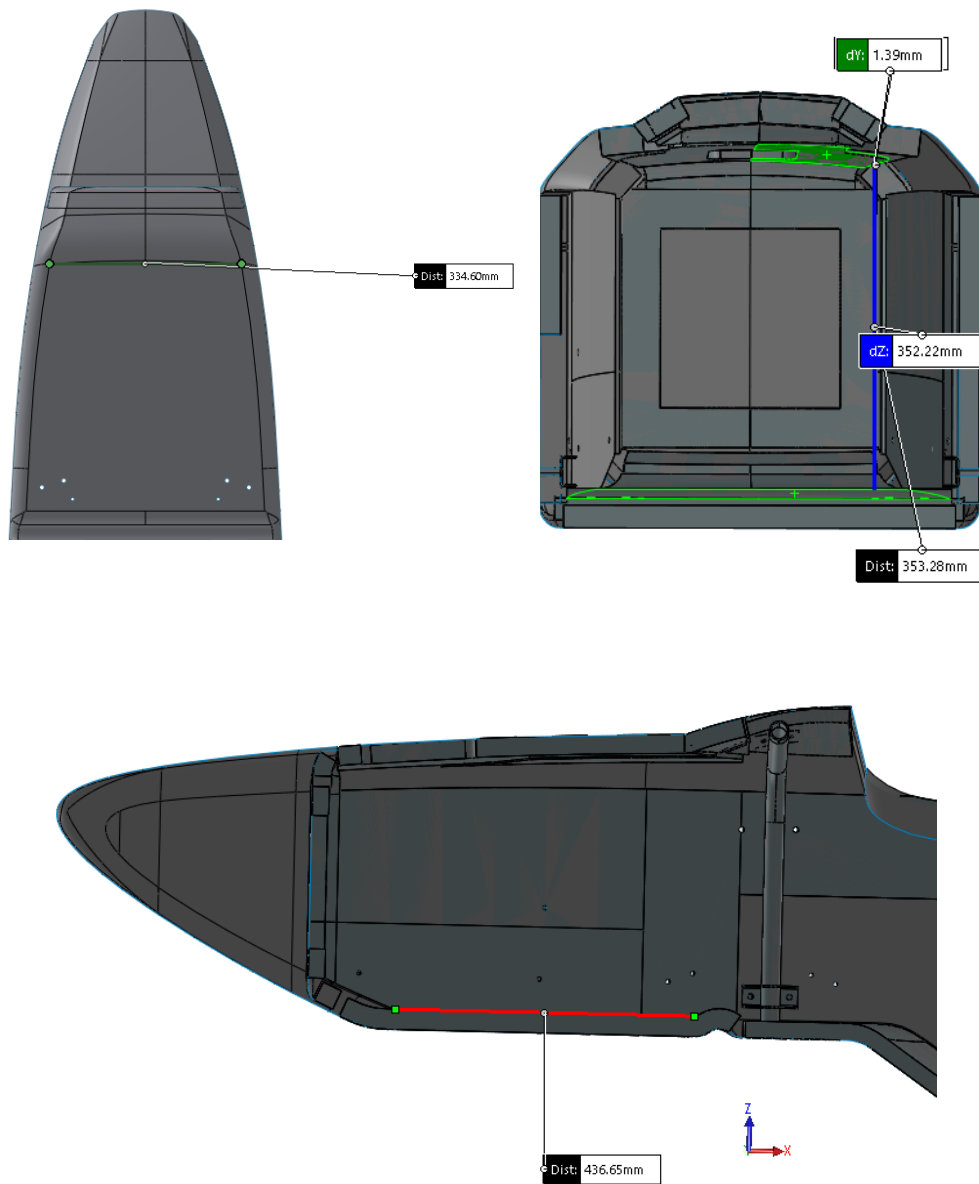
Tal i com marca la normativa cadascun dels sensor ha de tindre una sortida de voltatge diferent en tot moment un de l'altre. El desfasament de funció ha de ser d'un mínim del 10% al final del recorregut del pedal. Al mateix temps, interessa que els sensors ofereixin el seu màxim recorregut possible, per tal de tindre un acceleració de forma continuada, permetent al pilot una major sensació de control i evitant l'efecte On/Off.

Com s'observa a la imatge, per el model ELPM-25 el recorregut màxim és de 25mm. Amb l'objectiu que els sensor no arribin al punt de saturació, el departament de Sensòrica & Data Acquisition recomana aplicar un marge de seguretat en el seu recorregut, tant al principi de cursa com al final, es per això que es considera un recorregut útil de 20 mm.

Espai dins el monocasc

El marc normatiu i el cos humà són les principals restriccions que determinen la mida i ubicació de la caixa de pedals, no obstant, cal considerar el escàs espai disponible dins del monocasc, ja que també suposa una altra de les restriccions del sistema , degut a que la part frontal del vehicle està limitada per normativa tant en altura com en longitud.

El monocasc del ETR04, tal i com es mostra a la següent imatge, deixa un espai lliure de 352 mm verticals, 334 mm horitzontals i 436 mm longitudinals.

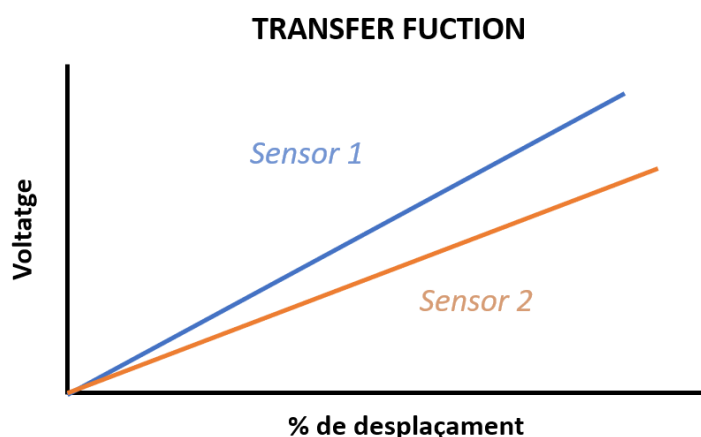


Il·lustració 5.5 Espai dins el monocasc

5.1.2. Generació geomètrica

5.1.2.1. Generació geomètrica pedal accelerador

Pel que fa al pedal accelerador, el requeriment més rellevant en la geometria d'aquest, es determinar les distàncies en que fixem els dos sensors per tal que tinguin un recorregut diferent de forma que s'asseguri un desfasament entre ells. La funció de transferència relaciona el desplaçament lineal que desplaça el sensor amb el voltatge transmès. Tal i com s'ha esmentat anteriorment la diferència mínima al final de cursa entre les funcions de cadascun dels pedals ha de ser d'almenys un 10%.



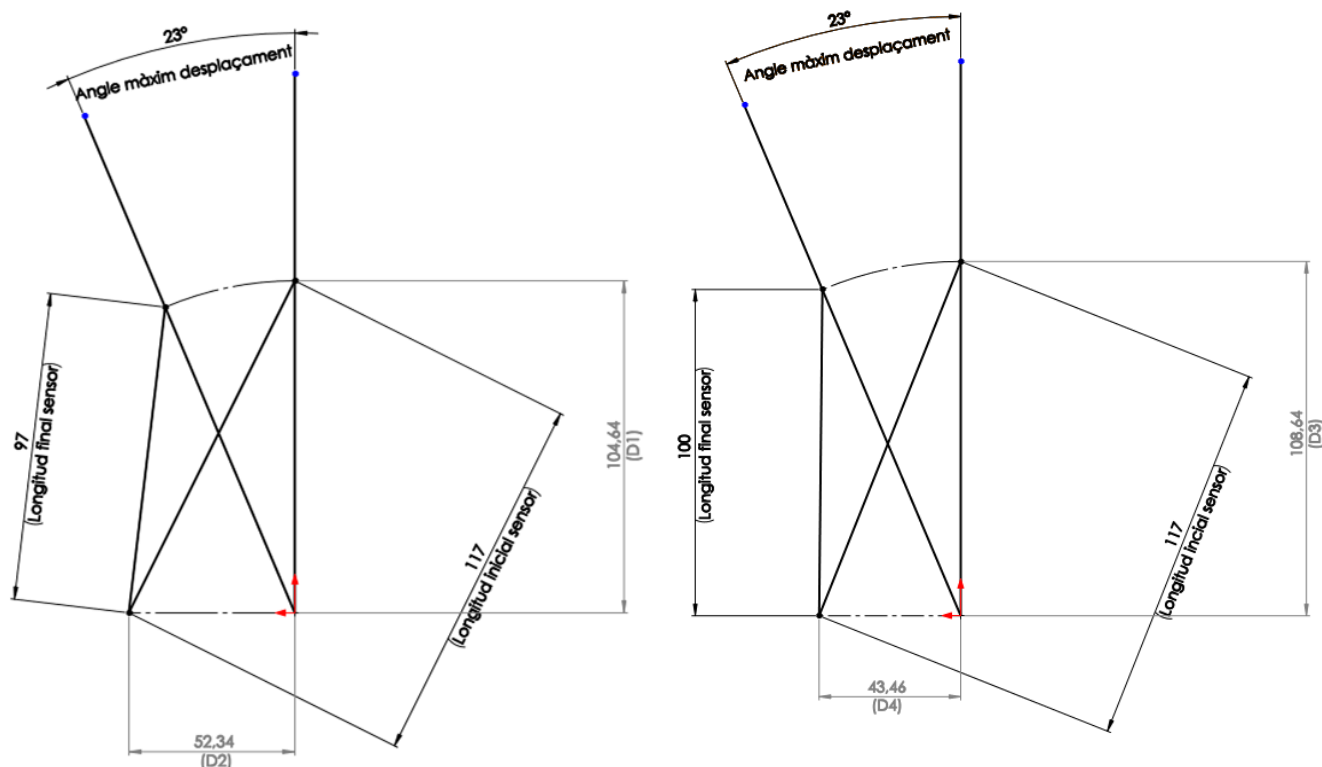
Il·lustració 5.6 Transfer Function Sensor

Al ser dos sensor iguals, determinarem una longitud final de de 97 mm i 100 mm respectivament. Assegurant una diferència de longitud total entre ells d'un 15%.

També s'han de tindre en compte les consideracions ergonòmiques estudiades anteriorment i el feedback transmès pels pilots, es per tant que s'ha decidit que el recorregut del pedal no superi els 23º respecte la vertical.

A l'hora dibuixar la geometria inicial es van prendre les següents mesures:

- Recorregut angular del pedal des de els 0 º fins a 23 º respecte la vertical.
- Sensor 1: Longitud inicial 117 mm ; Longitud final: 97 mm (recorregut 20 mm).
- Sensor 2: Longitud inicial 117 mm ; Longitud final: 100 mm (recorregut 17 mm).
- L'eix de rotació de pedal i dels sensors a la mateixa altura.



Il·lustració 5.7 Distàncies de subjecció dels sensor accelerador

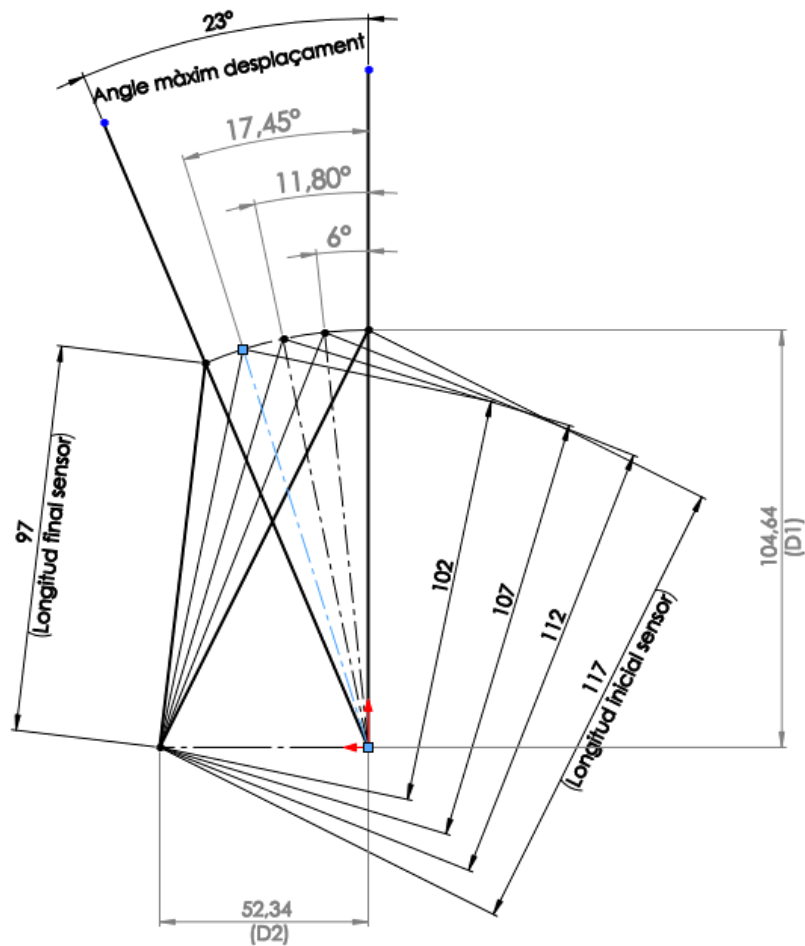
On la mesura D1 donada pel software, correspon a l'altura vertical que va fixat el sensor 1 al pedal respecte a eix de rotació; per altra banda, la mesura D2 fa referència a la distància horitzontal respecte l'eix de rotació que va subjectat el sensor. De la mateixa manera D3 i D4 respectivament fent referència al sensor 2 tal i com podem observar a la il·lustració 5.7.

Amb l'objectiu d'extreure la funció de transferència de cadascun dels sensors i permetre al departament de Data Acquisition & Sensòrica treballar amb valors reals, es va calcular de la següent manera:

Per cadascuna de les geometries definides anteriorment, assignem diferents valors de longitud de sensor (117,112,107,102) respectant la longitud final per a cadascun dels sensors.

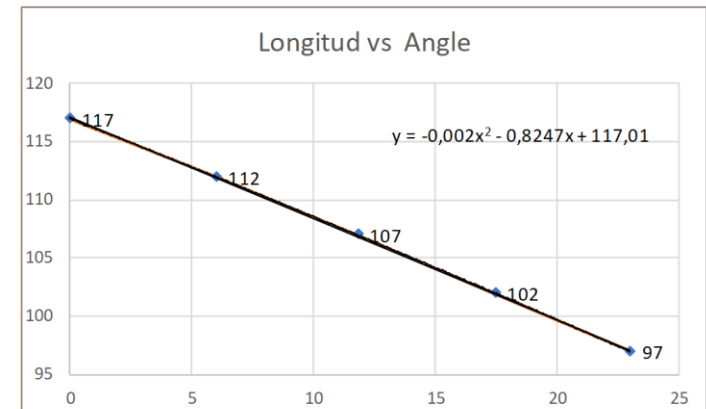
Longitud de sensor 1	Longitud de sensor 2
117	117
112	112
107	107
102	102
97	100

A continuació es determina l'angle de pedal per a cadascuna de les longituds assignades, per finalment extreure l'equació de cadascun dels sensor a partir d'una regressió lineal:

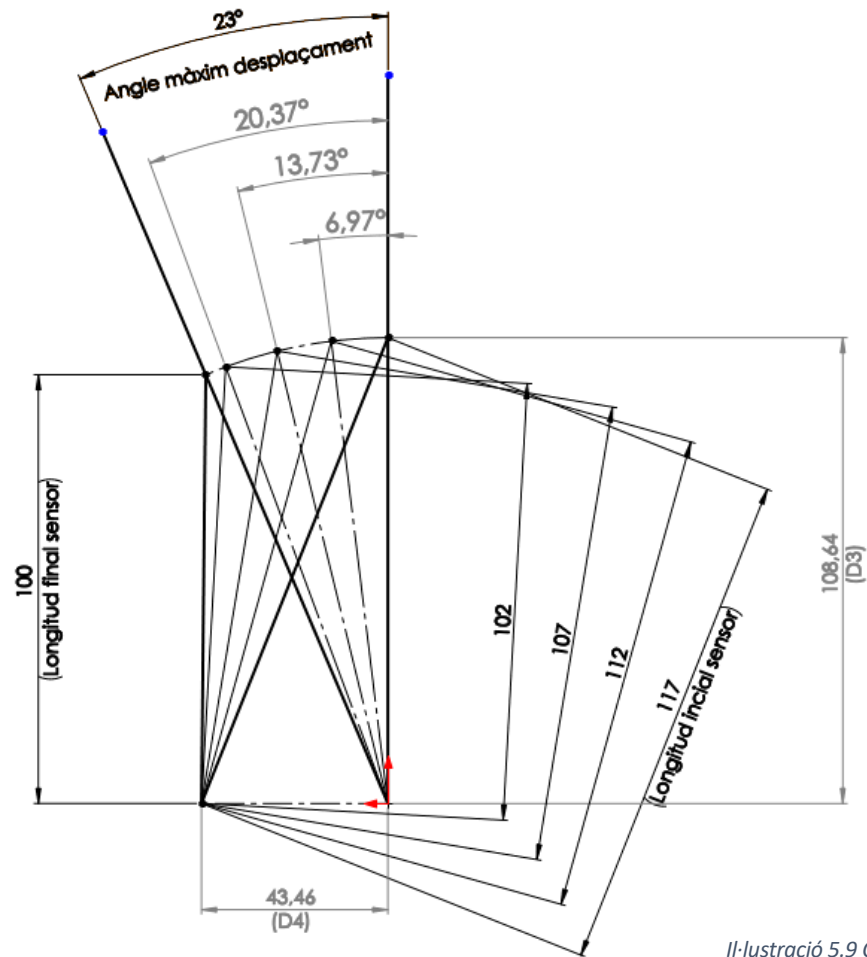


SENSOR 1

Angle	Longitud
0	117
6	112
11,8	107
17,45	102
23	97

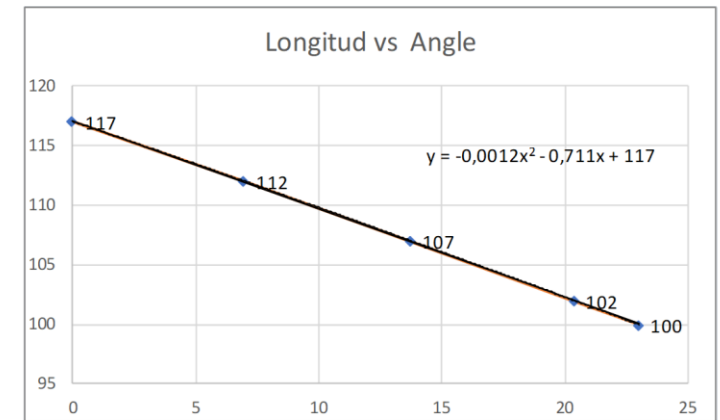


Il·lustració 5.8 Configuració geomètrica sensor 1



SENSOR 2

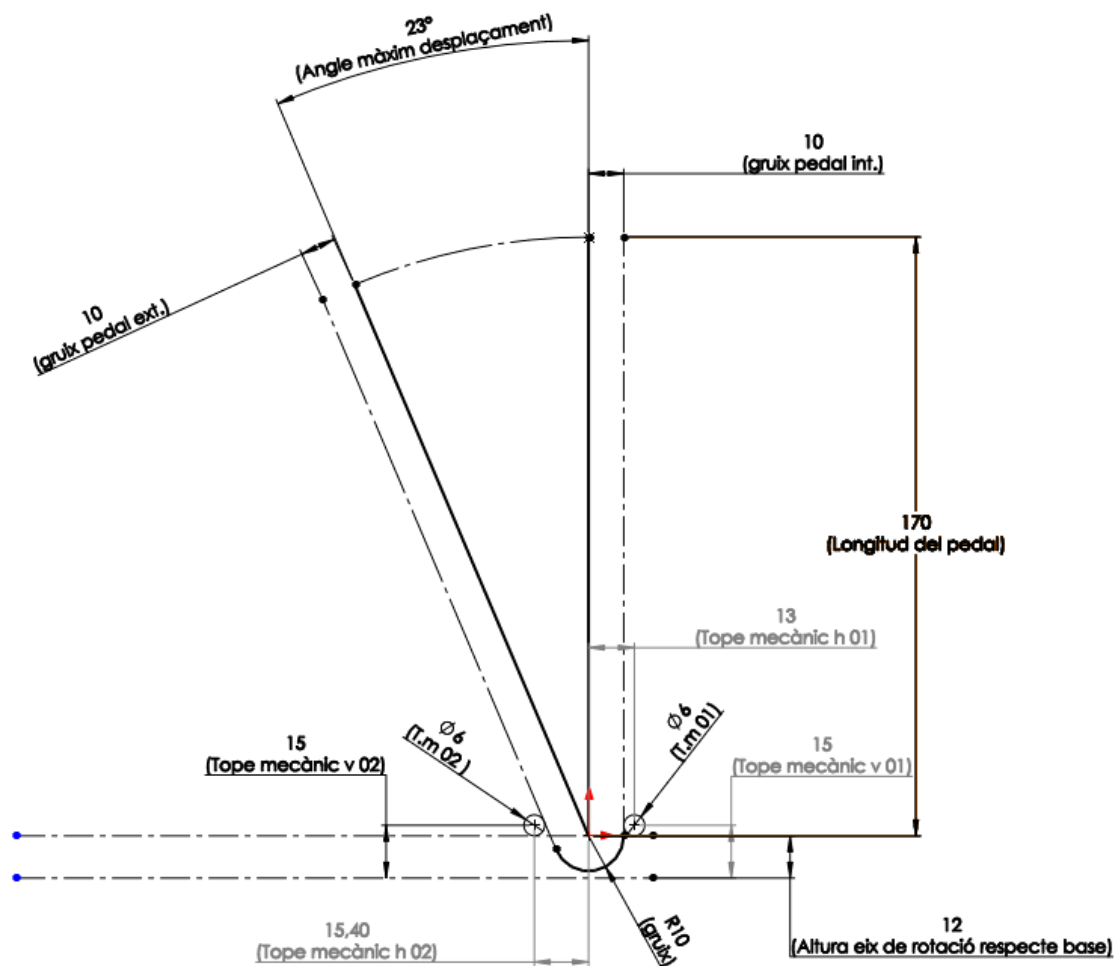
Angle	Longitud
0	117
6,97	112
13,73	107
20,37	102
23	100



II-lustració 5.9 Configuració geomètrica sensor 2

Un cop determinada la posició del sensors, se li atribueix un amplada inicial al pedal de 20 mm, per tal de determina la posició dels dos suports mecànics, (un pel final de cursa i l'altre pel retorn del pedal). Els topes utilitzats seran dues canyes calibrades respectivament i aniran incorporats a la base. Per determinar la posició d'aquests i dibuixar la geometria, es van prendre les següents mesures:

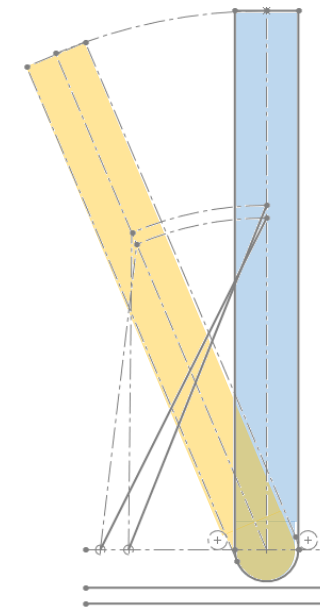
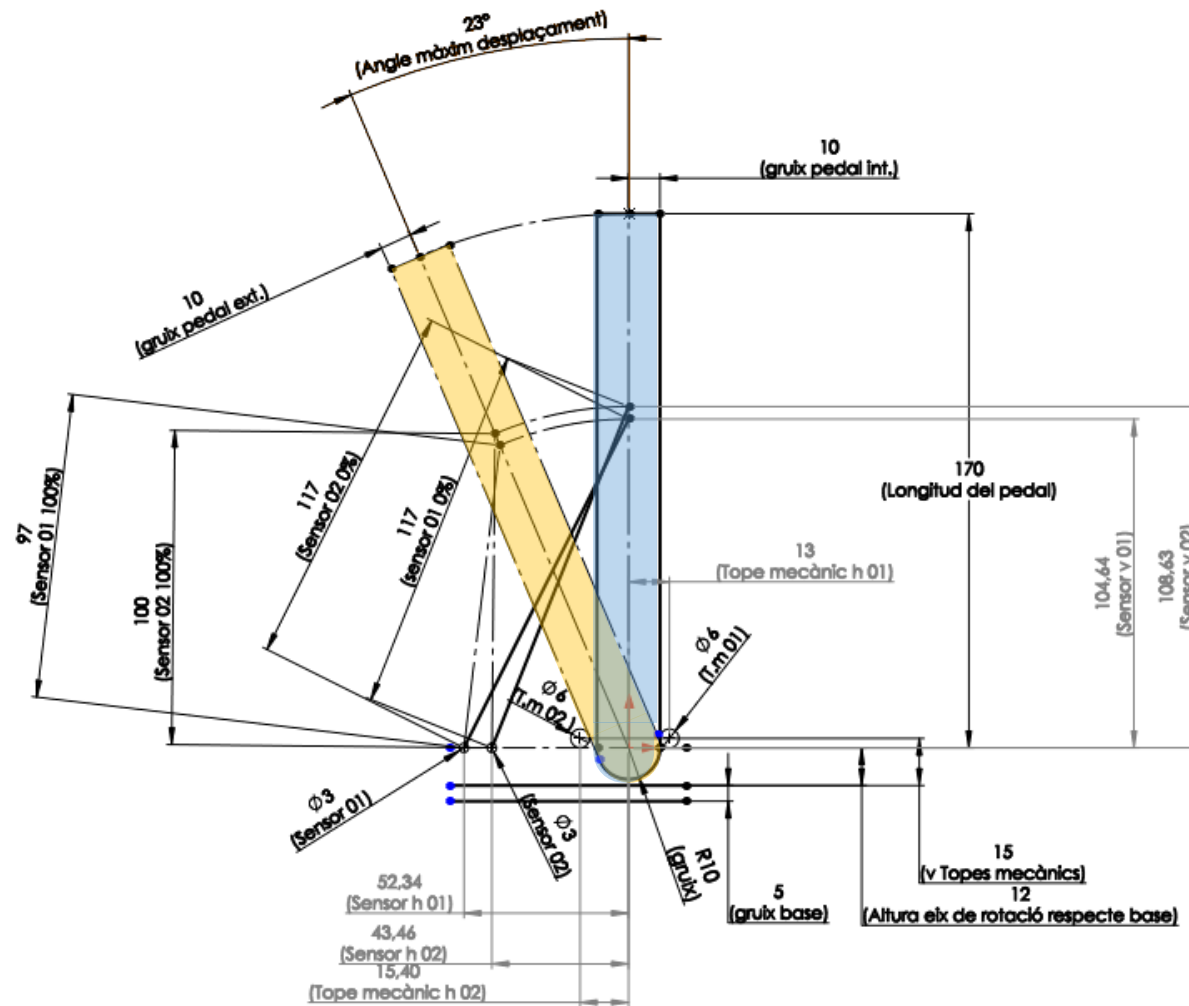
- Guix pedal 20 mm i en conseqüència fixació del eix de rotació a una distancia de 12 mm de la superfície de la base per tal que no i hagi interferència.
- Longitud del pedal de 170 mm (distancia d'aplicació de la força).
- Es defineixen topes mecànics amb diàmetre de 6 mm i es fan tangents a la superfície del pedal.
- Topalls incorporats a la base del pedal a una distancia de 15 mm respecte la superfície de la mateixa.



Il·lustració 5.10 Posicionament límits mecànics

Un cop definides les condicions anteriors els software posiciona el topalls mecànics tal i com es mostra a la il·lustració 5.10. Per últim, es dona un gruix de 5 mm a la base del pedal, i es té en consideració el diàmetres del punts de fixació del sensor.

Així doncs la geometria final del pedal accelerador quedarà definida de la següent manera:



- ESTAT DE REPÒS
- FINAL DE CURSA

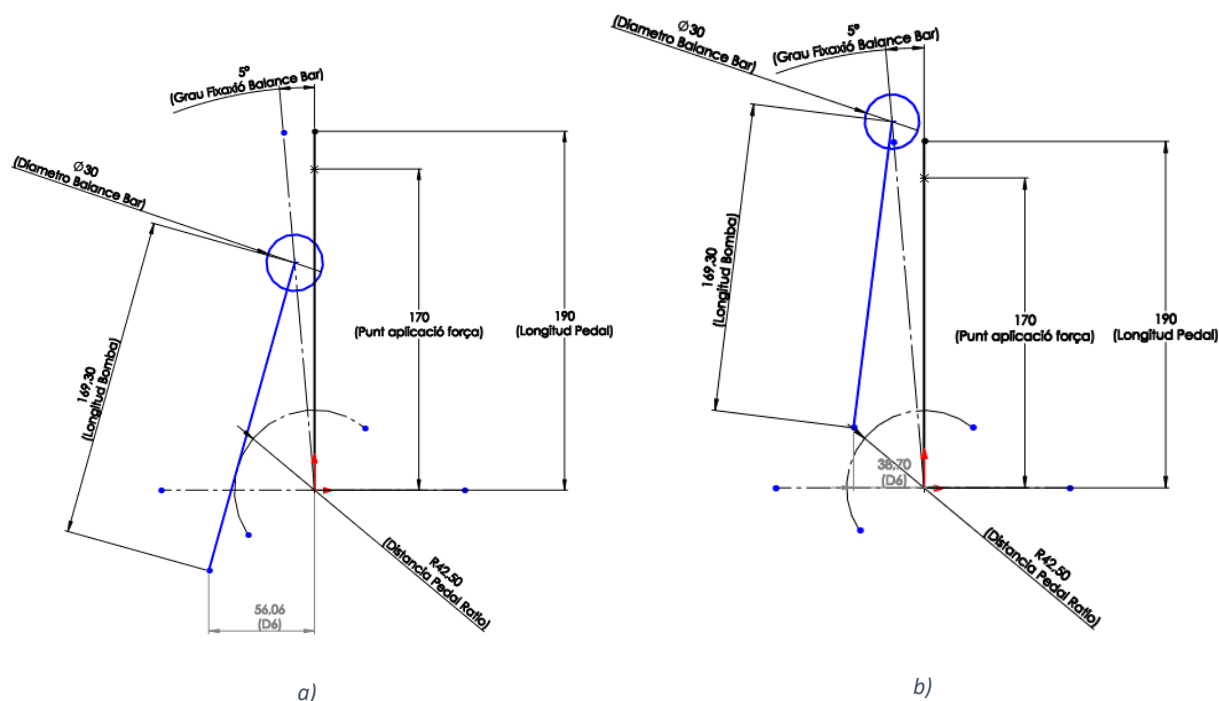
Il·lustració 5.11 Geometria pedal accelerador

5.1.2.2. Generació geomètrica pedal de fre

El primer pas per el disseny del pedal de frenada, es determinar com les bombes i el pedal deuen interactuar. Els dos aspectes més importants del pedal de frenada és la relació *pedal ratio* i el recorregut. Al tindre les bombes un recorregut mínim, el considerem com un sistema estàtic.

Sabent la longitud inicial de les bombes, els passos a seguir han estat els següents:

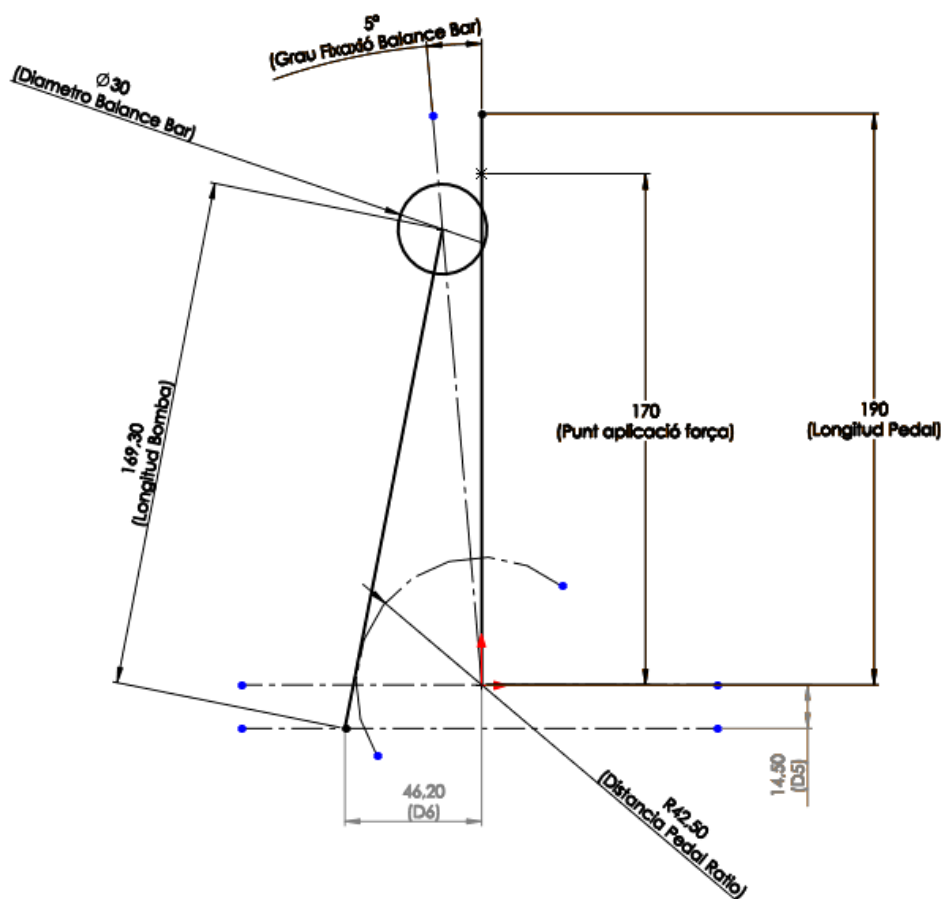
- Seleccionem una longitud del pedal de 190 mm des de l'articulació.
- Angle inicial del pedal 0°.
- Relació *pedal ratio* de 4 a 1, es a dir, per cada newton que aplica el pilot al pedal de fre, la bomba n'hauria de transmetre quatre.
- Donada l'equació 5.01 descrita anteriorment, es calcula la distancia corresponent per a un pedal de longitud 190 mm, i seguidament es dibuixa una circumferència concèntrica al eix de rotació de segons la distancia calculada (circumferència radi 42,5 mm).
- S'inclou la circumferència (30 mm) referent a la *balance bar* a 5° respecte la vertical del pedal.
- Es dibuixa la longitud inicial de la bomba (169,3mm), i es fa tangent a la circumferència que marca la distancia idònia del pedal ratio (42,5 mm).



Il·lustració 5.12 Posicionament geomètric lliure de les bombes

En aquest punt, donades les restriccions definides anteriorment el software dona llibertat posicional de situar l'altura de la bomba respecte el pedal tal i com es pot mostrar a la il·lustració 5.12.

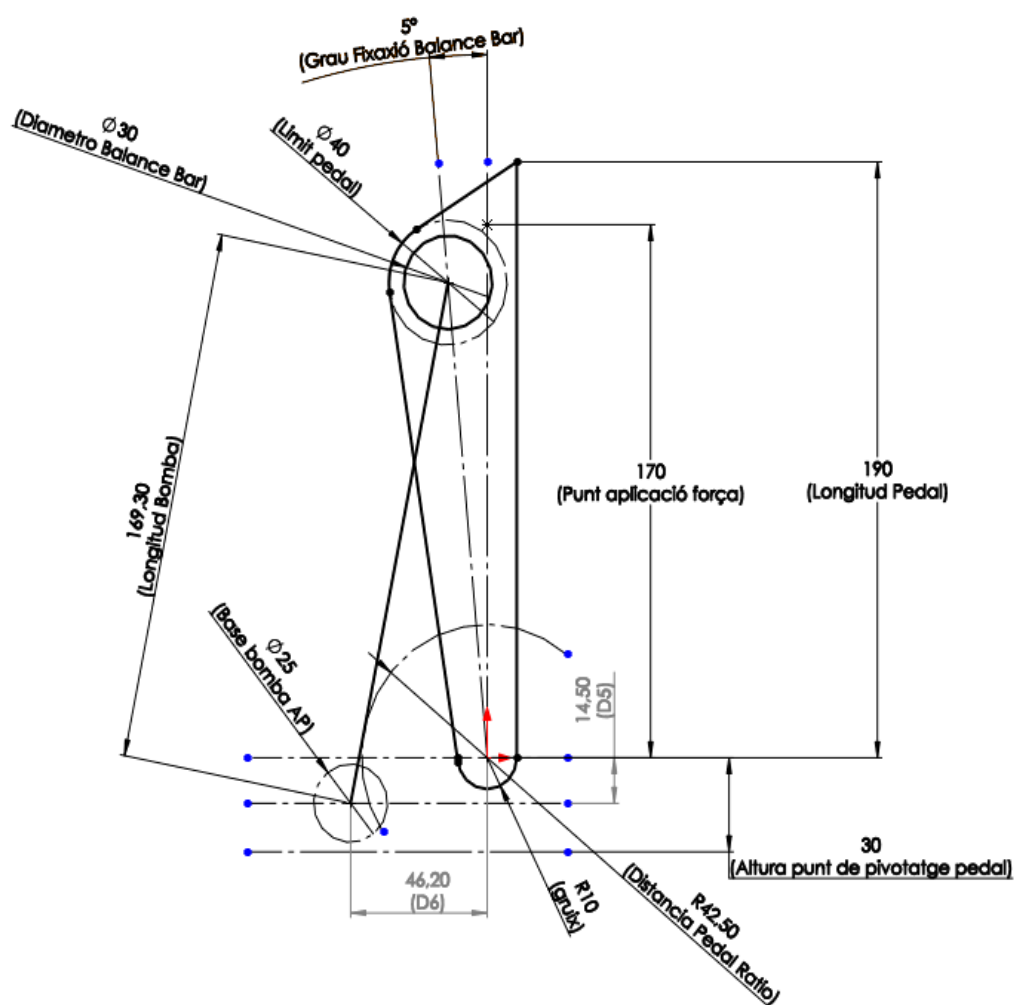
Finalment es decideix posicionar les bombes en punt intermedi a una distancia de 14,5 mm per sota del l'eix de rotació del pedal. Permetent així una reducció de l'altura del sistema i al mateix temps evitant allargament del pedal reduint al màxim la massa del pedal, donant així la següent geometria:



Il·lustració 5.13 Geometria pedal de fre

Determinada la posició de les bombes, el següent pas es posicionar el pedal a la menor altura respecte la base. Cal apuntar que les bombes presenten un gruix en el seu punt de subjecció, es per tant que cal posicionar el pedal a una altura suficient per evitar la coalició d'aquestes amb la base. Al mateix temps, es considera un gruix inicial al pedal; per definir aquestes consideracions es van prendre les següents mesures:

- Guix pedal 10 mm respecte la geometria generada anteriorment
- Es defineixen gruix de les bombes (Radi 12,5mm) en el seu punt de fixació i en conseqüència fixació del eix de pivotatge del pedal a una distancia de 30 mm de la superfície de la base per tal que no hi hagi interferència.
- Es fan tangents des de el punt de rotació del pedal fins a l'altura de la *balance bar*.

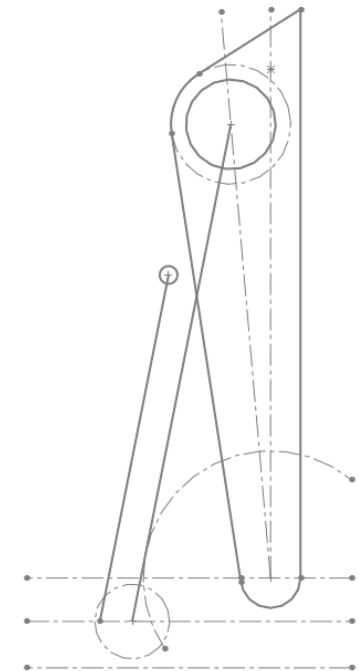
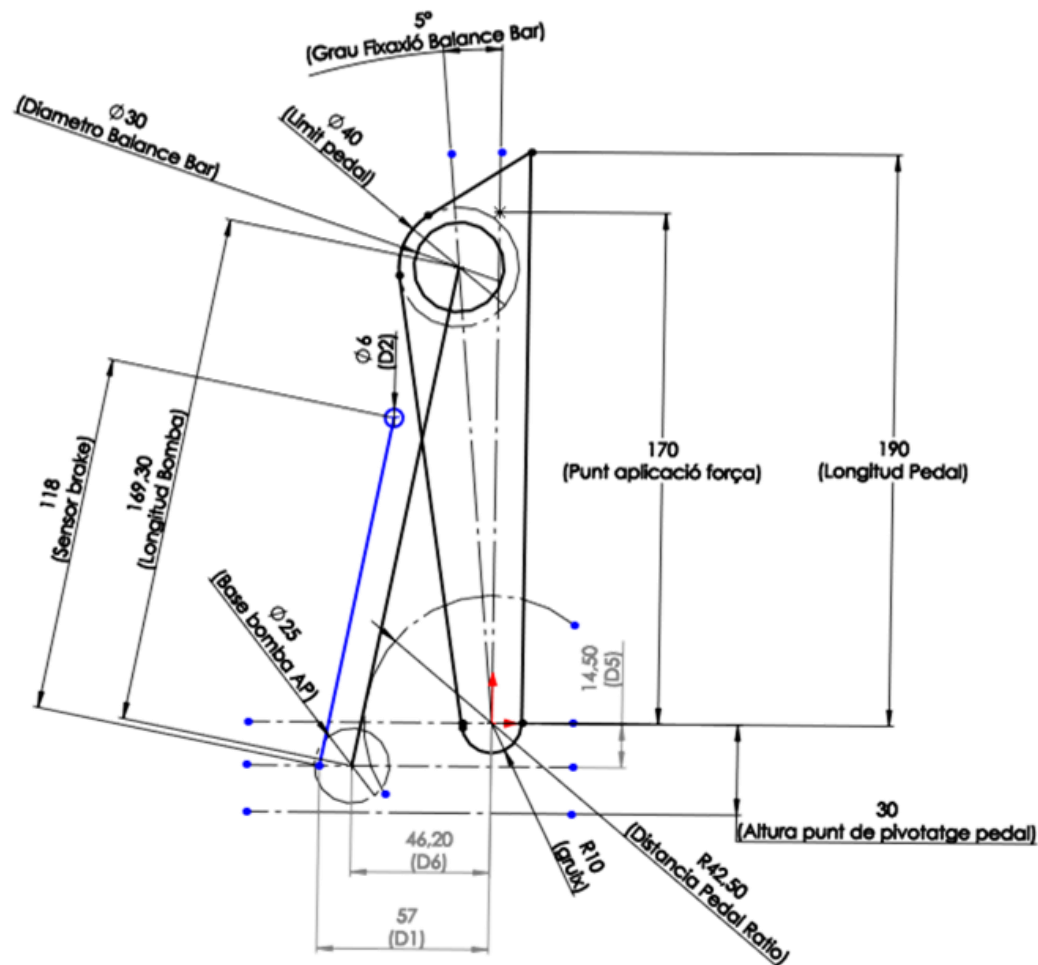


Il·lustració 5.14 Geometria final pedal de fre

Per últim cal posicionar el sensor de frenada que en aquest cas, no cal tindre en consideració cap tipus de desfasament, ja que per normativa només es necessari un sensor, amb l'únic objectiu detectar si el fre esta sent accionat per tal d'encendre la *brakelight*.

Per tal que el recorregut d'aquest juntament amb el desplaçament del pedal sigui detectat amb precisió, aquest es posicionarà a una certa distancia del pedal de forma paral·lela a les bombes amb una longitud inicial de 118 mm.

Es per tant que la geometria final del pedal de fre quedarà definida de la següent forma:



NOTA: La posició de l'interruptor BOTS, no es definirà en aquest apartat, ja que com es veurà, és un element que deu ser ajustat de forma experimental.

5.2. Selecció de materials

La selecció d'un material per construir una part mecànica o element estructural és una de les decisions més importants a l'hora de desenvolupar un disseny. El procés de selecció dels materials pel *pedal box* s'ha basat tenint en compte els objectius inicials de disseny i les restriccions que imposa la normativa mencionades anteriorment; al mateix temps, per a la selecció dels diferents components del sistema es tindran en compte els materials més emprats dintre del sector de l'automoció.

A partir de la geometria generada, s'observa que les càrregues que hauran de suportar els pedals, són càrregues amb estrès a flexió i a compressió, al mateix temps han de suportar sense tenir una deformació excessiva.

Pedal de frenada

El component del sistema que està sotmès a major tensió, és el pedal del fre. Segons les restriccions de la normativa mencionades anteriorment, el pedal del fre ha d'estar forjat o mecanitzat a partir d'alumini, acer o titani.

- El titani és el material amb unes característiques més òptimes, degut a la seva elevada resistència, similar a la majoria d'acers, i amb la meitat de densitat de material (4507 kg/m^3). Però per seu elevat preu i degut als recursos limitats de l'equip no seria una opció vàlida.
- L'acer és imprescindible per a algunes parts, que requereixen majors càrregues i major resistència i durabilitat. No obstant això, la seva densitat és major a 7800 kg/m^3 . Tot i que cal tindre en consideració que l'acer pot tractar-se tèrmicament per aconseguir resistències més enllà de qualsevol dels altres materials considerats, també és un material fàcil i comunament soldat.
- L'alumini és la opció més viable degut al seu baix pes amb una densitat de 2700 kg/m^3 , combinat amb les bones propietats mecàniques que ofereix i el seu estalvi de preu en relació al titani.

Els aliatges d'alumini són els més lleugers, aquest grup de materials serà el seleccionat per a la fabricació del pedal de fre.

Tabla 12.7 Composiciones, propiedades mecánicas y aplicaciones típicas de ocho aleaciones de aluminio comunes										
Número de la Aluminio Association	Número UNS	Composición (% en peso) ^a				Condición	Propiedades mecánicas			Aplicaciones típicas
		Cu	Mg	Mn	Otros		Resistencia a la tracción [psi × 10 ³ (MPa)]	Límite elástico [psi × 10 ³ (MPa)]	Ductilidad (% EL en 2 pulg.)	
Aleaciones hechurables no tratables térmicamente										
1100	A91100	0,12				Recocido	13 (90)	5 (34)	35	Planchistería
3003	A93003	0,12		1,2		Recocido	16 (110)	6 (42)	30	Utensilios cocina
5052	A95052		2,5		0,25 Cr	Recocido	28 (195)	13 (90)	25	Partes de autocares y camiones
Aleaciones hechurables tratables térmicamente										
2014	A92014	4,4	0,5	0,8	0,8Si	Tratamiento térmico	70 (485)	60 (415)	13	Estructuras generales
6061	A96061	0,3	1,0		0,6Si, 0,2Cr	Tratamiento térmico	45 (310)	40 (275)	12	Camiones, torres, muebles
7075	A97075	1,6	2,5		5,6Zn, 0,23Cr	Tratamiento térmico	83 (580)	73 (505)	11	Partes estructurales de aviones
Aleaciones moldeables tratables térmicamente										
295,0	A02950	4,5			1,1Si	Tratamiento térmico	36 (250)	24 (165)	5	Cárter de motores, ruedas de avión
356,0	A03560		0,3		7,0Si	Tratamiento térmico	33 (230)	24 (165)	4	Bloques de cilindros enfriados por agua

Il·lustració 5.15 Al·leacions d'alumini (Callister)

L'alumini 7075 T6 serà el material a utilitzar en la fabricació del pedal de frenada; també serà l'escollit per mecanitzar les bases de cadascun dels pedals.

Pedal Accelerador

El material que es va considerar en primera opció per al disseny del pedal accelerador és l'alumini, degut a les bones propietats mecàniques que ofereix, juntament amb el seu baix pes. Al mateix temps és un material que permet una fàcil fabricació i és molt comú per aquest component entre els equips de Formula Student. No obstant, si es vol reduir al màxim el pes del sistema, una opció és la utilització de fibra de carboni, tal i com utilitzen els equips de Formula 1.



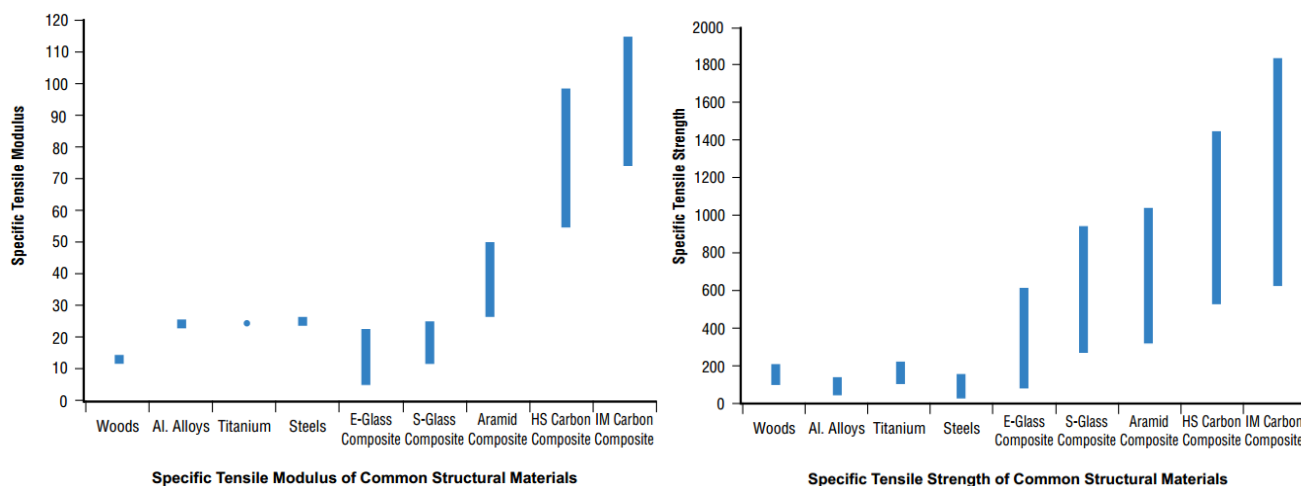
Il·lustració 5.16 Pedals d'un monoplaça Formula 1

Els compostos de fibra de carboni són materials cada vegada amb més renom en el món de l'automobilisme de competició, per les seves propietats mecàniques i per se un material molt lleuger amb una densitat quatre vegades menor que la de l'acer.

Les peces fetes de fibra estan fetes a partir de fibres sintètiques procedents del carboni en una matriu de polièster o epòxid. Les fibres s'encarreguen de suportar les càrregues mecàniques, mentre que la matriu es limita a mantenir la cohesió entre totes les fibres al mateix temps que transmet les càrregues i proporciona ductilitat i tenacitat, a més de protegir les fibres del dany causat per la manipulació o el medi ambient.

Un dels seus principals avantatges és la lleugeresa juntament amb la seva gran resistència amb un mòdul de resistència a la tracció tres cops superior al de l'acer. Això permet utilitzar menor quantitat de material per a aconseguir la mateixa resistència que una peça metàl·lica. El resultat serà un estalvi de pes significatiu; a més compta amb una elasticitat superior a la dels metalls.

La força i la relació rigidesa/pes dels materials compostos es pot il·lustrar millor amb els següents gràfics que representen propietats específiques. Aquestes són el resultat de dividir les propietats mecàniques d'un material per la seva densitat.



Il·lustració 5.17 Comparativa propietats específiques compostes amb altres metalls

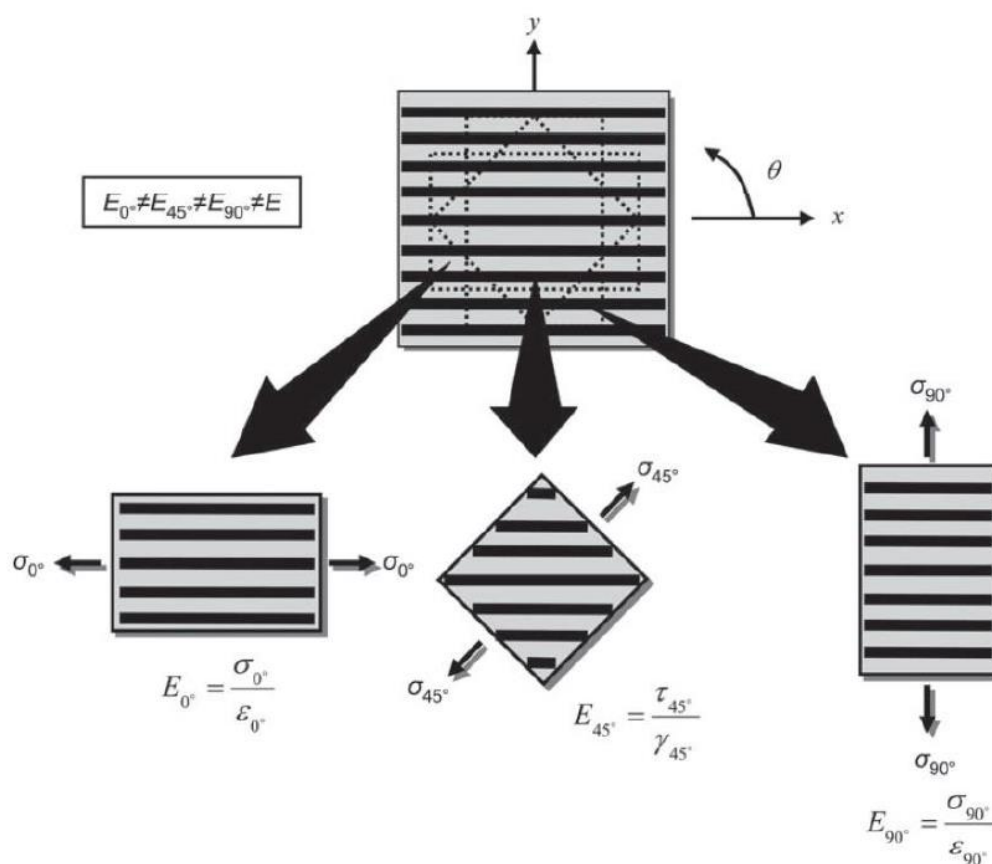
Si es compara el Mòdul de Young/Densitat (E/ρ) de l'acer, alumini, magnesi i titani tenen aproximadament el mateix valor (aprox. $25 \text{ MPa}/(\text{kg}/\text{m}^3)$), les fibres de carboni tenen entre 40 i 90 $\text{MPa}/(\text{kg}/\text{m}^3)$. Per altra banda és un material que quasi no presenta plasticitat, el límit de ruptura pràcticament coincideix amb el límit elàstic.

Amb aquestes característiques permet substituir peces que tenen unes altes sol·licituds mecàniques reduint el seu pes, que és una necessitat essencial en l'automobilisme de competició.

La fibra de carboni és un material molt versàtil el qual la força que pot suportar dependrà en gran mesura del disseny realitzat.

Els materials es divideixen en isòtrops, anisotròpics i orto tròpics. Els isòtrops tenen les mateixes propietats del material en totes les direccions, i les forces normals generen únicament tensions normals.

En contrast, els materials anisotròpics, tenen diferents propietats del material en totes les direccions en un punt de la peça. No hi ha plànols de simetria, i les càrregues normals generen tensions normals i esforços tallants. Per últim definim un material és orto tròpic aquell que les seves propietats mecàniques o tèrmiques són úniques i independents en les direccions perpendiculars entre si. Alguns exemples de materials orto tròpics són la fusta, molts cristalls i els metalls laminats.



Il·lustració 5.18 Propietats segons orientació de capa del laminat

Com es pot veure en la Il·lustració anterior, si el material és anisotròpic, té propietats que varien amb la direcció del material. En aquest exemple, els mòduls són diferents en cada direcció. Igual que amb el mòdul, també afecta a la tensió, el coeficient de Poisson i el coeficient d'expansió tèrmic.

El motiu per el qual es plantegen laminats quasi isotròpics és perquè en una peça com el pedal apareixen esforços tant de flexió com de compressió en l'eix longitudinal. Per alta banda el pilot

experimenta forces laterals, provocant la desviació de la força que s'aplica sobre el pedal respecte l'eix longitudinal provocant forces de torsió en la peça.

Quan totes les capes estan orientades en la mateixa orientació, s'anomena làmina. En canvi, quan hi ha diverses capes col·locades en diverses direccions, l'anomenem laminat. A l'hora de laminar les capes, la orientació de les mateixes s'anirà alternant de 0 a 45° consecutivament, per aconseguir un laminat quasi isotròpic en el pla.

La fibra a utilitzada a l'hora de fabricar el pedal, serà del tipus *prepeg* (explicació en apartat 6.1.2), amb disposició bidireccional, d'un gruix de 0,44 mm per lamina i d'un gramatge de 400 g/m².

La part negativa d'aquest material és l'elevada complexitat en seu procés de fabricació, això farà que el seu preu s'elevi. Per altra banda, cal remarcar que la fibra de carboni és un material anisòtrop, per la qual cosa l'estudi i la simulació d'aquets és més complexa en comparativa amb altres materials com l'alumini o l'acer.

NOTA: Per la temporada 2017/18, el monocasc a fabricar serà totalment de fibra de carboni. Els retalls sobrants per a la laminació d'aquest seran més que suficients per a la laminació del pedal accelerador com de les altres peces que es fabriquin a partir de fibra, es per tant, que la decisió de fabricar el pedal amb fibra no suposarà en aquest cas un increment de cost econòmic per a l'equip.

5.3. Modelació

Una vegada generada la geometria i escollit el material que es realitzaran cadascun dels elements, es pot passar al disseny real en 3D.

Pel disseny en tres dimensions s'ha de tenir present que el programa a utilitzar per a la modelació dels dissenys en CAD dins l'equip e-Tech Racing, és Solid Works (Dassault Systems), per tant serà el software que utilitzarà per modelar el diferents components a excepció dels *foot supports* i taloneres (elements explicats en el apartats 5.3.5 i 5.3.6).

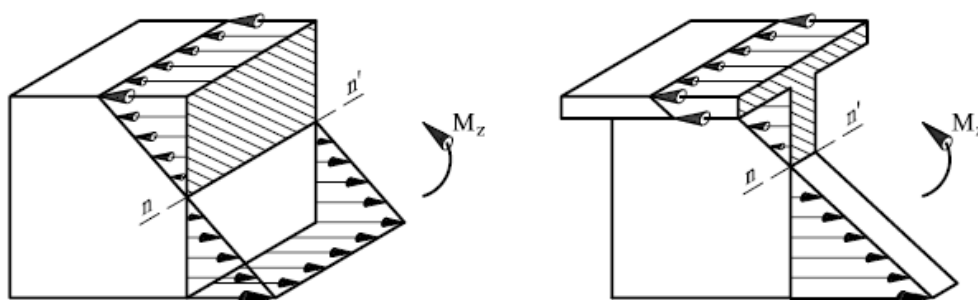
5.3.1. Pedal de fre

Per al disseny del sistema de fre, en primer lloc es va realitzar un estudi sobre els diferents perfils del pedal, que serà fabricat en alumini. L'objectiu d'aquest estudi és que el pedal sigui els més resistent possible per aguantar els 2kN de força marcats per normativa, però al mateix temps reduint al màxim el volum i per tant el pes d'aquest. Es van considerar els quatre perfils presentats en la il·lustració:



Il·lustració 5.19 Perfils del pedal considerats

Al ser la peça del pedal de fre, una peça amb gran carrega a flexió a causa de la força del peu aplicada pel pilot, s'ha considerat com una biga a flexió. La llei de Navier ens permet calcular la tensió en un punt de la secció, conegut el seu eix neutre i s'expressa com:



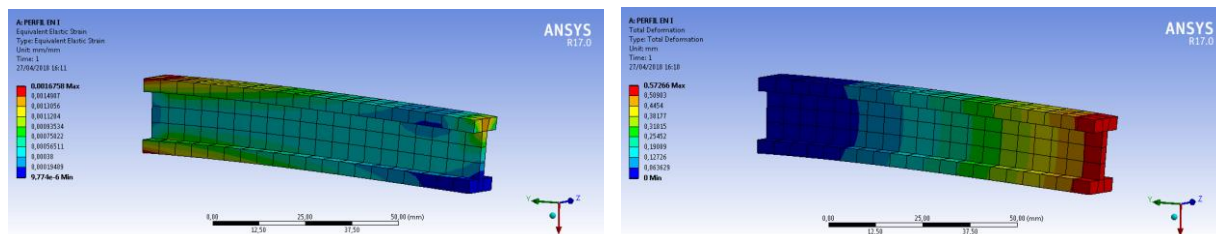
(Eq. 5.03)

$$\sigma_x = - \frac{M_z \cdot y}{I_z}$$

On M_z és el moment flector produït per la força, y és la distància des de l'eix neutre de la secció transversal al punt en el qual s'està calculant la tensió, aquesta serà la distància més allunyada ja que serà on es donen les tensions màximes, per últim i I_z és el segon moment d'inèrcia de la secció transversal.

Es per tant, cal que la secció tingui el moment d'inèrcia el més gran possible, per tal que les tensions màximes siguin el més petites possibles. Al mateix temps l'àrea ha de ser mínima per tindre en conseqüència un estalvi de material i pes.

Es van realitzar models d'aquests quatre perfils, amb àrees i volums equivalents per tal de realitzar simulacions amb l'objectiu d'escollir el disseny més convenient, calculant tant la deformació i la tensió de Von Mises màxima en cadascun d'ells.



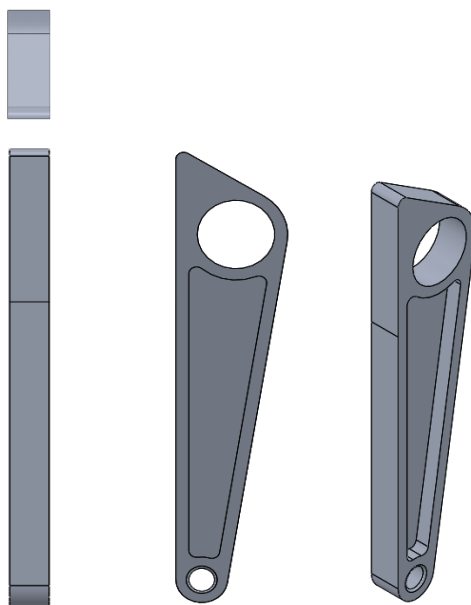
Il·lustració 5.20 Exemple d'estudi de secció

Els resultats de cada un dels perfils es mostren a continuació:

Taula 6 Resultat del estudi de secció

Perfil	Deformació màxima (mm)	Tensió màxima (MPa)
D	0,76487	471,68
I	0,57266	335,13
Π	0,68027	427,32
T	0,77301	568,18

Com era d'esperar el segon perfil, el perfil en I és el que ofereix la millor solució al tindre major inèrcia i per tant serà l'escollit a l'hora de la modelar el pedal. Seguint la geometria definida anteriorment la modelació inicial del pedal de fre queda definida de la següent forma:

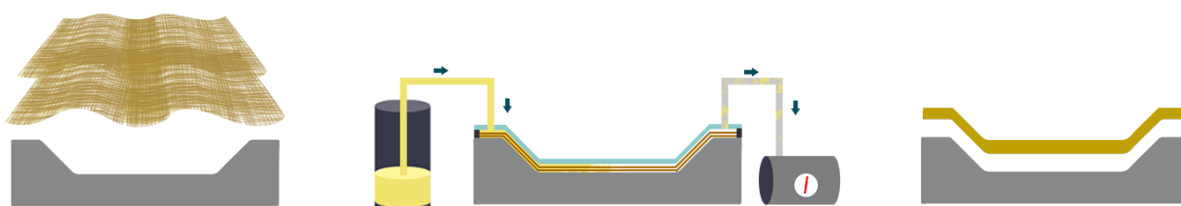


Il·lustració 5.21 CAD Pedal de fre

5.3.2. Pedal accelerador

La modelació del pedal accelerador, ve en gran part marcada pel material elegit i en les restriccions de fabricació que imposa aquest.

Tota peça que es fabrica amb fibra de carboni, ha estat desemmotllada prèviament del seu motlle corresponent; sigui quin sigui el procediment de fabricació, les peces fabricades amb materials compostos és fabriquen a partir de la solidificació de la matriu sobre un motlle, adquirint la forma del mateix.



Il·lustració 5.22 Croquis procés de fabricació fibra per buit (Composites-ate)

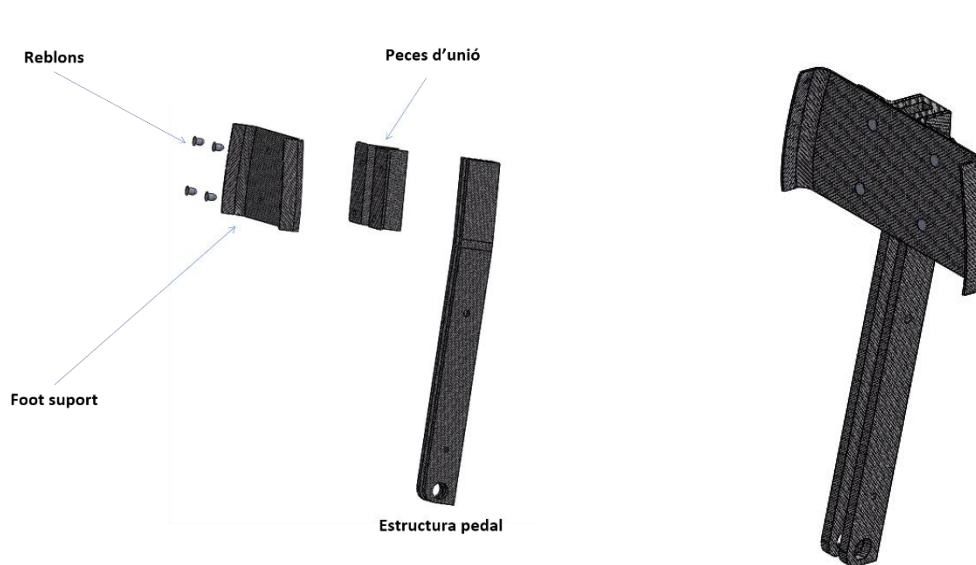
Per norma general, no es pot fabricar una peça de tipus massís com en el cas dels metalls ni dels plàstics, aquesta condició implica i limita la secció de la peça.

Considerarem els esforços que rep el pedal com un biga a flexió, es per tant que la forma ideal per a qualsevol biga a flexió és en un perfil en I degut a la seva relació d'inèrcia / àrea, aquest es descarta per procediment i la alta complexitat o quasi impossibilitat de fabricació al fer-se en fibra de carboni.

Finalment després de diversos dissenys, es va decidir que la secció que permet fabricar la peça a partir de fibra, assegurant un desemmotllament eficient i al mateix temps que permet un correcte funcionament, i implementació del diversos elements per a que treballin eficientment és en forma de U.

Es per tant que seguint la geometria definida en l'apartat anteriorment, es va realitzar una primera modelació de la peça tenint en compte la secció escollida.

La primera opció va ser modelar l'estructura del pedal i el *foot suport* per separat, per a continuació unir les dues peces a través de dues cantonades fetes amb fibra permetent la unió del pedal i el *foot suport* a traves de reblons.



Il·lustració 5.23 Opció inicial de disseny de pedal accelerador (explosinat esquerra / assemblet dreta)

Finalment, es va decidir fer la fabricació del pedal accelerador i el *foot suport* com una sola peça, assegurant una peça més compacte, al mateix temps reduint el número de peces a fabricar i el temps de producció. Aquesta decisió va ser prèviament validada pel cap de fabricació de l'empresa Nexus Projectes (Empresa col·laboradora amb l'equip e-Tech Racing, amb 25 anys d'experiència en el desenvolupament, producció i fabricació de *composites*). Es per tant que la modelació inicial a falta de comprovar el número de capes que tindrà el pedal serà la següent:



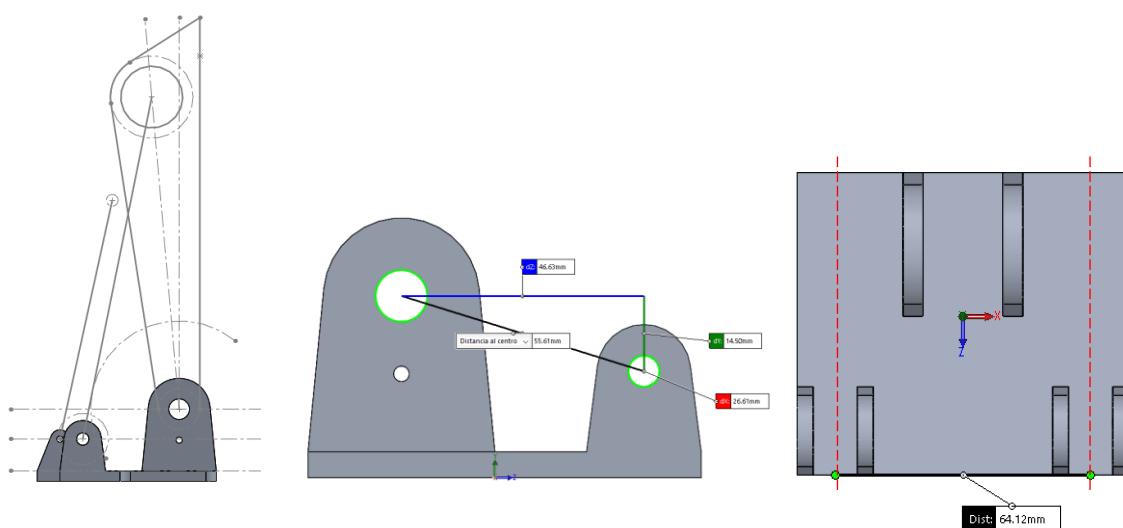
Il·lustració 5.24 CAD Pedal accelerador

5.3.3. Bases de subjecció

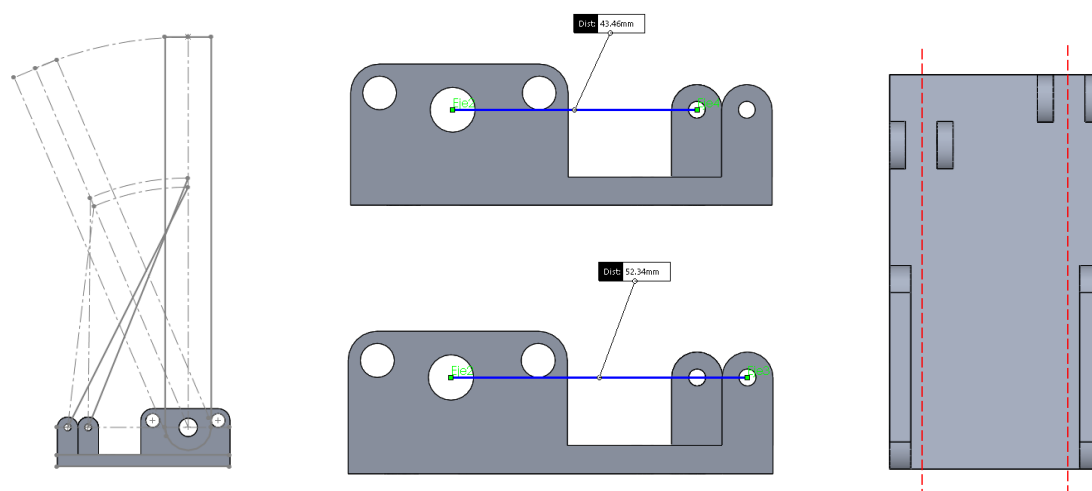
Les bases són aquells elements encarregats d'assegurar i subjectar la correcta posició de tots els components del sistema, fent així que interaccionin entre ells de la forma més òptima d'acord amb la geometria definida per a cadascun dels pedals.

Per modelar les bases d'ambos pedals i obtenir una peça que funcioni òptimament, en primer lloc cal marcar la geometria com a punt de partida i a partir d'aquí definir el model fins a visualitzar la forma que es vol aconseguir.

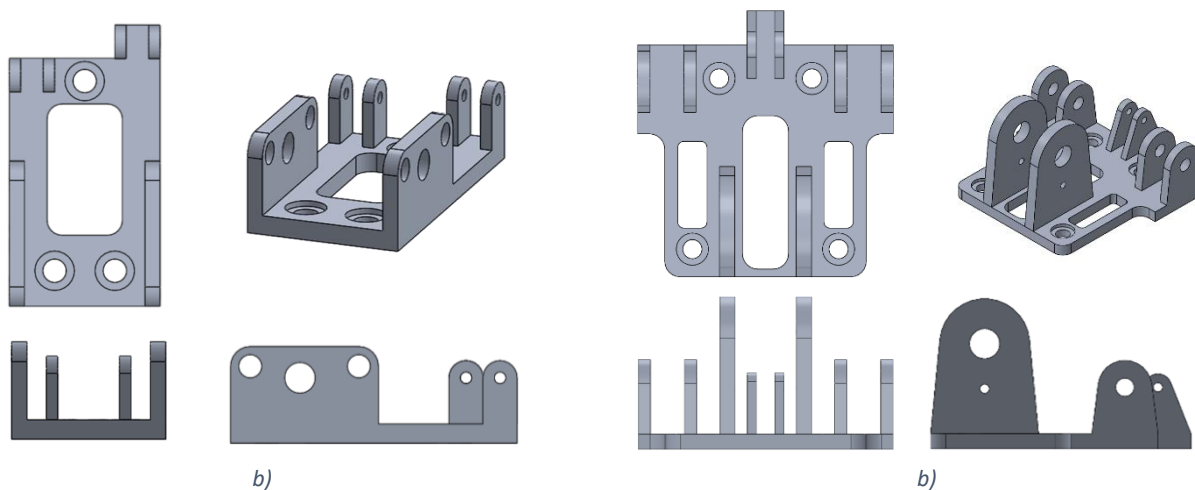
Pel que fa a la base del fre del cal considerar la distància entre el clevis de 64mm per tal de posicionar alienadament l'eix de les bombes juntament amb la *balance bar*.



En relació a la base de subjecció del pedal accelerador es tindrà en compte una amplada suficient per les subjeccions dels sensors, per tal que es subjectin per cadascuna de les cares laterals del pedal.



Un cop definida les geometries principals de la peces, es pot seguir amb la reducció de material amb l'objectiu de reduir el màxim pes possible. Finalment es van afegir els orificis corresponents per tal que aquestes es subjectin correctament a la base i assegurar un fixació òptima.



Il·lustració 5.25 Bases de subjecció pedals accelerador (a) i fre (b)

5.3.4. Foot suports i taloneres

Degut a les vibracions i desplaçament laterals que durant la conducció sofreix el monoplaça i les forces que experimenta el pilot, pot provocar que els peus se surtin de la seva posició de conducció. Es per això, que es va decidir dissenyar unes peces anomenades *foot suports* que permetin mantenir en tot moment el peu sobre el pedal, al mateix temps respectant l'eix d'aplicació de la força exercida pels pilots.

Per altra banda el fre i l'accelerador necessiten un punt sobre el qual el taló pugui descansar i proporcionar un punt de pivot des de qual s'aconsegueix el balanceig del peu, es per això que juntament amb els *foot suports* s'han modelat unes taloneres.

Amb l'objectiu que aquestes peces siguin el màxim ajustables i personalitzades, s'han dissenyat mantenint la forma de les botes que utilitzaran els pilots a les competicions.

Les botes que disposa l'equip són de la marca GT2i més exactament el model *Race by Sparco*. Aquest model respecta la normativa que marca la competició i estan homologades per la FIA (*Federazione Internazionale de l'Automobile*) segons la norma FIA 8856-2000 que descriu la roba de protecció per als pilots.

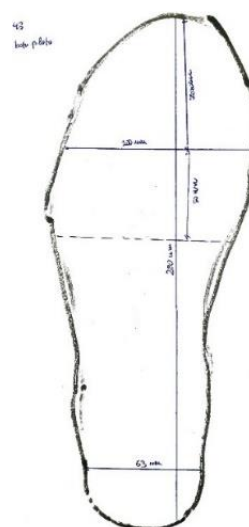


Il·lustració 5.26 Botes GT2i model Race by Sparco (web GT2i)

S'ha decidit modelar aquestes peces a partir de la bota de competició de la mida més gran que disposava l'equip (talla 43), això permetria que el pedals fossin funcionals per a qualsevol dels pilots.

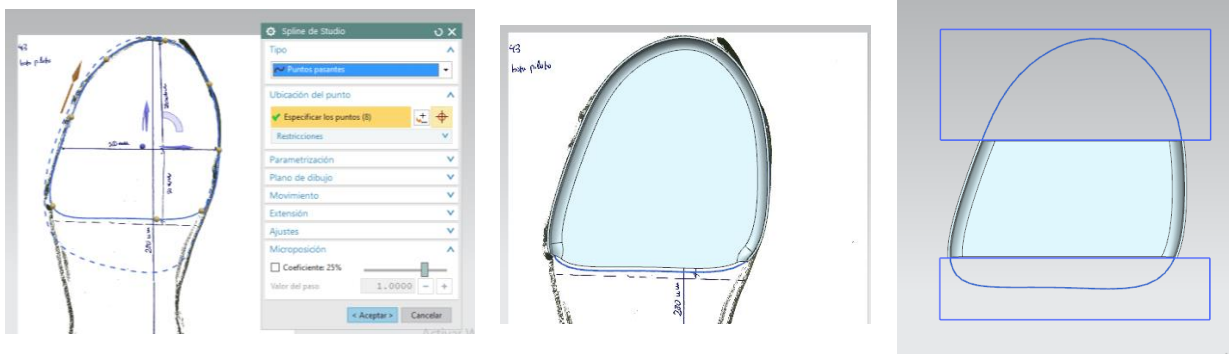
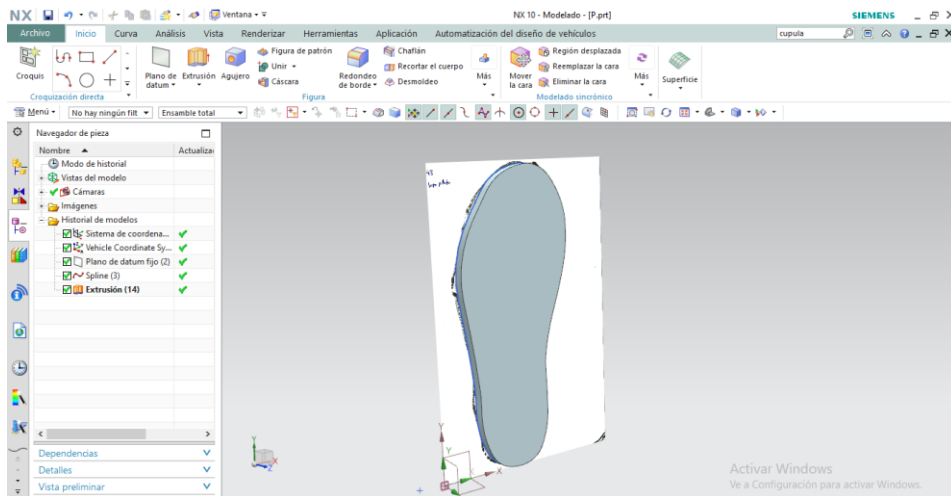
La forma més precisa per tal de dissenyar aquestes peces, hagués estat a partir de la digitalització de la bota mitjançant un sistema òptic o escanejat en 3D. Obtenint així un núvol de punts tridimensional i convertint-lo en un arxiu digital manipulable amb un software de CAD 3D específic.

L'equip no disposa d'una màquina d'escaneig en 3D ni cap col·laboració que ho permeti. Es per això que la alternativa que es va decidir, vas ser modelar aquestes peces a partir de la a partir de la sola de la bota, per més endavant fer un escaneig i modelar-les.



Il·lustració 5.27 Planta bota GTi2 talla 43

A causa a les limitacions que el programa Solid Works ofereix per treballar amb superfícies en comparació amb d'altres softwares, s'ha decidit utilitzar el Software Nx Unigraphics (Siemens).



Il·lustració 5.28 Procés de modelat foot support

Finalment es van passar a format *parasolid* per tal que siguin compatibles amb el software SolidWorks.

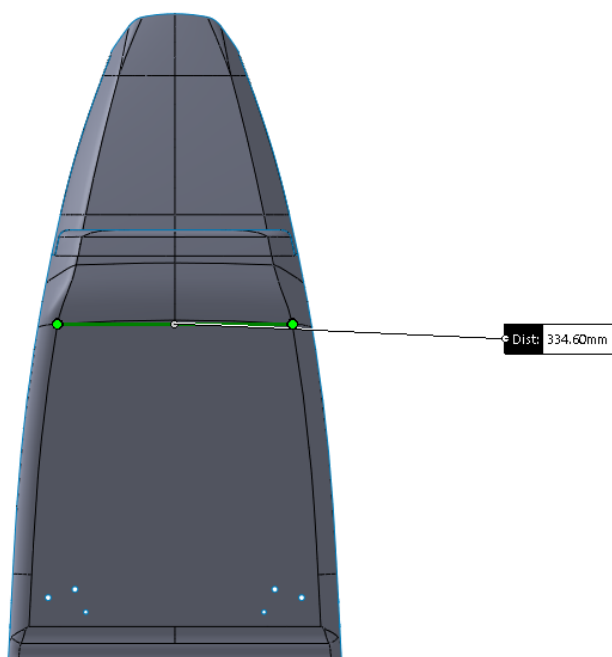


Il·lustració 5.29 CAD resultant talonera (a) i foot suport (b)

5.3.5. Plataforma mòbil

Un cop decidit que el sistema serà ajustable i els pedals aniran disposats sobre una base unificada, cal modelar aquesta, tenint en consideració l'espai limitat que es disposa per acollir el sistema dins l'estructura monocasc.

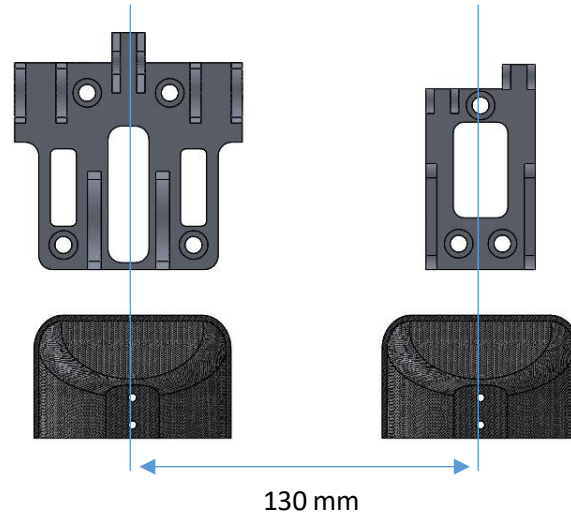
Inicialment es parteix de la base que la superfície on anirà col·lat el sistema de pedals, té un amplada de 334 mm, tal i com s'observa a la imatge.



Il·lustració 5.30 Vista superior cara inferior de la estructura monocasc

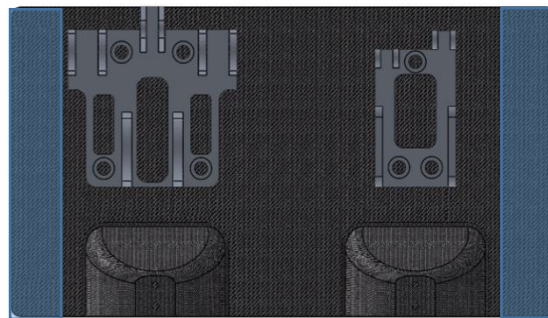
L'objectiu a l'hora de dissenyar aquesta peça és que el sistema ocupi el mínim espai possible dins l'estructura, facilitant així la seva instal·lació i al mateix temps permeten una fàcil accessibilitat per tal de regular la distància del sistema segons el pilot.

Les dimensions d'aquesta ha estat obtingudes a partir de posicionar inicialment les bases de subjecció (prèviament modelades) alineades juntament amb les taloneres a una distància de 130 mm (distància determinada prèviament en l'apartat de consideracions ergonòmiques)

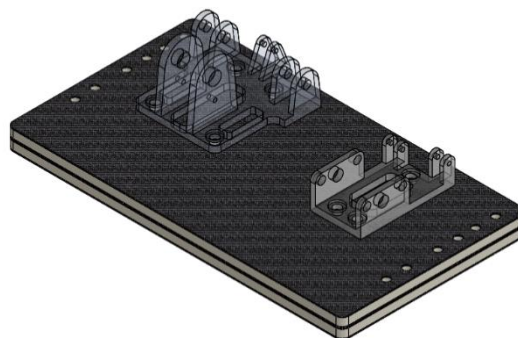


Il·lustració 5.31 Distància entre pedals

A continuació s'ha deixat un marge als costats per tal que la peça pugui ser acollida a un sistema de guies tal i com es veurà més endavant.



Finalment han estat afegits el orificis corresponents per subjectar tant el sistema de guies com les bases i taloneres del conjunt. La base quedarà definida de la següent forma:



Il·lustració 5.32 Plataforma mòbil

Comentar que estarà feta amb una d'una doble capa de 16 mm feta d'una estructura Sandvitx de foam PVC i fibra de carboni. Aquesta serà feta aprofitant el fons pla del monoplaça de la temporada 2015/16 ETR02.

5.4. Simulació del conjunt

L'objectiu de les simulacions es comprovar les reaccions que patiran el principals elements que formen el sistema així com verificar el seu disseny i la seva fabricació.

El Software utilitzat per portar a cap l'anàlisi d'elements finits (FEA) i verificar el disseny, ha estat ANSYS 17. S'estudiarà el pedal de accelerador, pedal de fre i la base de subjecció del pedal de fre.

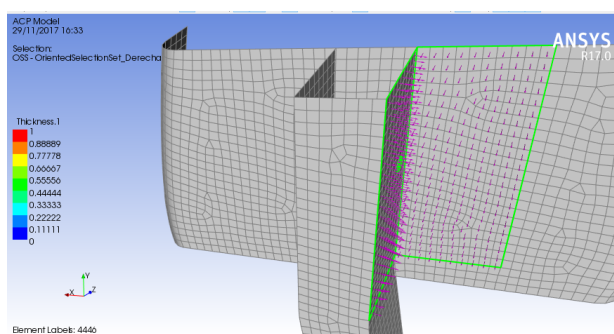
5.4.1. Estudi paramètric pedal accelerador

Un cop definida la geometria i la forma del pedal, cal determinar quin serà el número de lamine necessàries per validar la fabricació de l'element, assegurant un correcte comportament.

Cal tindre present que l'objectiu principal establert pel que fa al disseny i a la fabricació del pedal, és la reducció de pes. Així doncs, el que s'ha procurat és obtenir un pedal amb el menor número de lamine possibles, però al mateix temps amb una resistència suficient per tal de suportant les forces sense ruptures ni deformacions.

L'estudi del comportament de la fibra, s'ha fet a partir el programa dels mòduls ACP (*ANSYS Composite PrepPost*) i *Static Structural*. El mòdul ACP permet realitzar la simulacions de fibres, tenint present variables com el tipus de fibra utilitzada, el número de capes o la seva orientació.

L'ACP permet, a partir d'una superfície donada, determinar la direcció de referència a partir de la qual s'establirà l'orientació de les fibres i l'ordre de superposició de cada capa. Es per això que aquestes variables són imprescindibles d'introduir-les correctament en cadascuna de les simulacions per obtindre uns resultats més pròxims a la realitat.

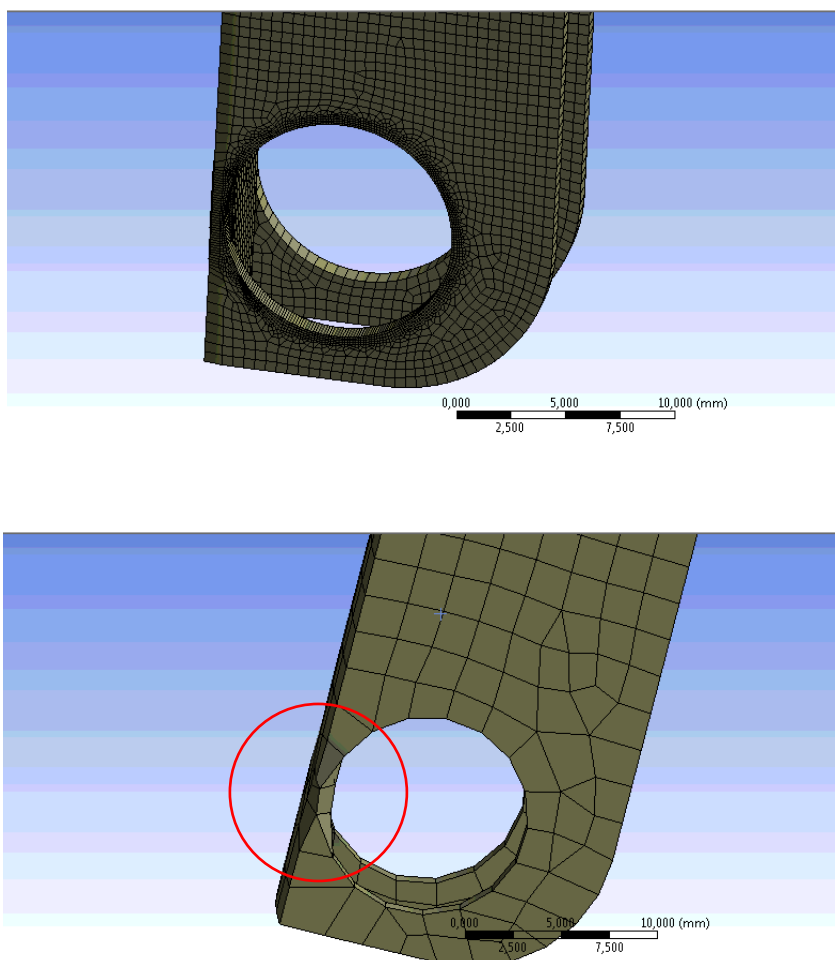


Il·lustració 5.33 Orientació de laminació capes segons ANSYS ACP

Prèviament a realitzar les simulacions del pedal, cal conèixer i entendre les càrregues que afecten a aquest i quins desplaçaments es produiran. En el cas del pedal, la màxima deformació es produirà en l'extrem del mateix, ja que es troba en gran part a flexió vertical. Tot i així la zona que es tindrà principal consideració serà en la que es trobaran acollats els sensors, prenen com a desplaçament màxim admissible de 2 mm, ja que si aquesta fos més gran pot arribar a fer mal bé els sensors.

Un dels factors més importants a l'hora de realitzar una simulació per elements finits, és, sens dubte, el mallat de la geometries:

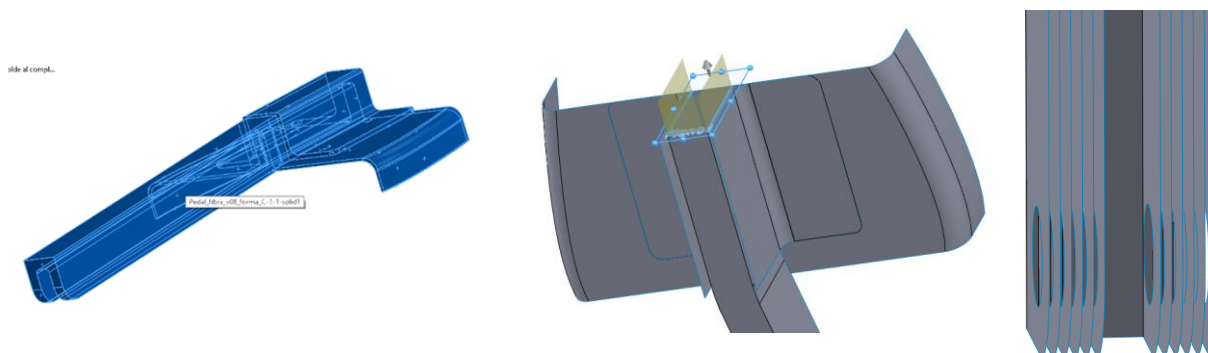
S'ha aplicat un control de grandària d'element de malla en les zones on trobem contacte amb l'eix de rotació o en les cares on es produeix una direcció del laminat diferent. Sinó s'apliqués aquest control de grandària, quan se simules la peça no s'ajustaria a la geometria real. Es pot observar en les dues següents imatges la influència d'aplicar aquest control. En la primera, el mallat segueix la superfície de la geometria, però en la segona il·lustració es pot observar on hi ha zones que les superfícies són irregulars a causa de la grandària dels elements.



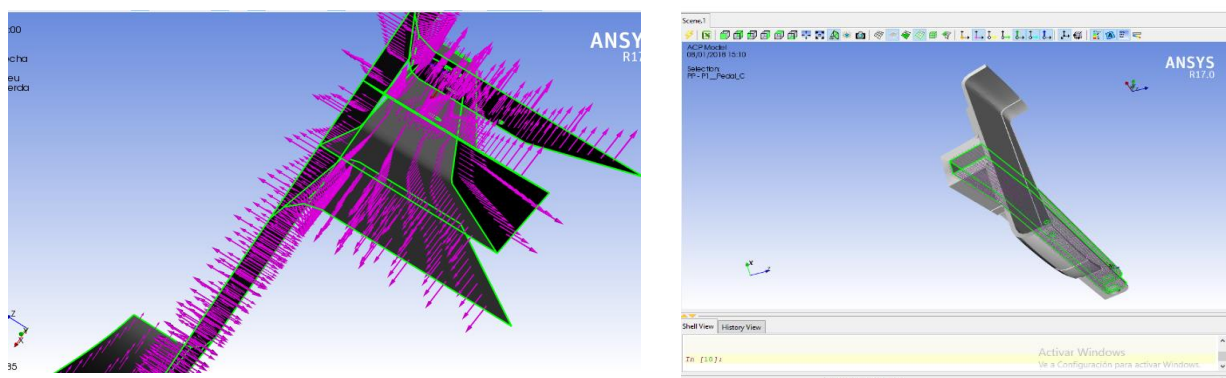
Il·lustració 5.34 Control del grandària dels nodes de malla

Amb l'objectiu de determinar quin serà el número de lamine òptim, s'ha procedit l'estudi de la següent forma:

A partir del software de disseny SolidWorks s'han extret les superfícies corresponents al pedal accelerador modelat inicialment.



A través del mòdul ACP s'han laminat de forma progressiva pedals ; on cadascun d'ells se li ha assignat un número de capes diferent.



Il·lustració 5.35 Representació del procés de laminat a través del mòdul ACP pre

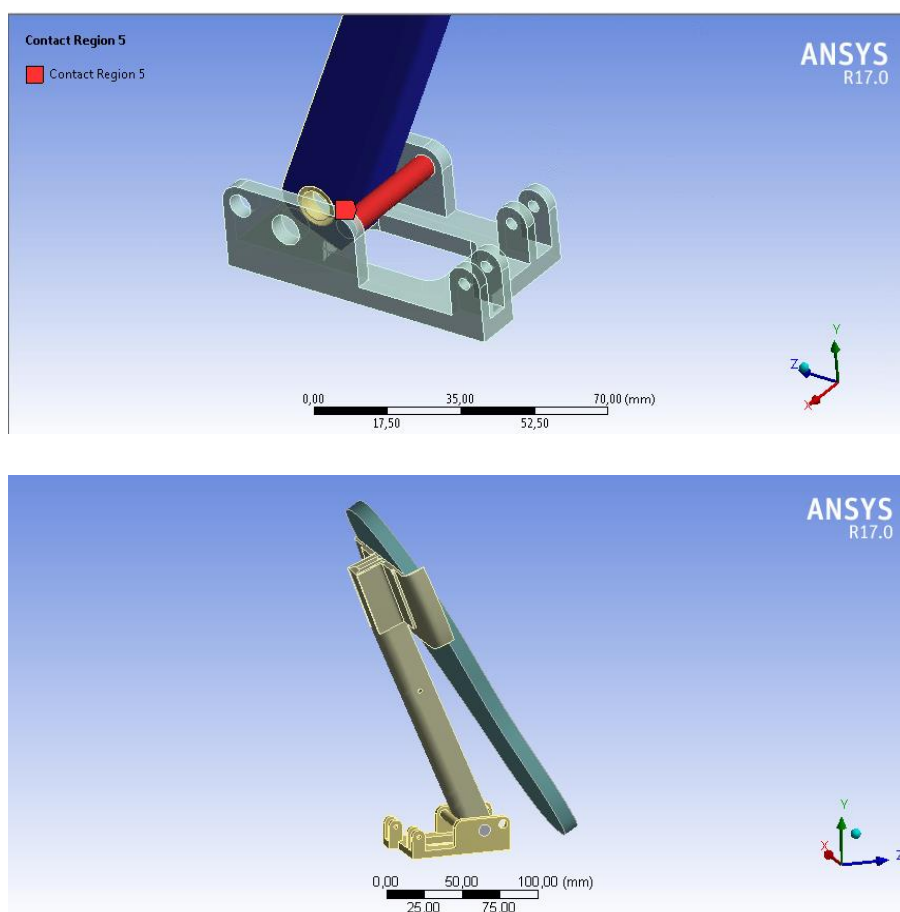
NOTA: Al ser la simulació de fibres a través de software un procés complex i lent, en la qual s'han de tindre en consideració diversos passos. No s'inclourà a la memòria del treball, sinó a l'annex; on es trobarà com a exemple de forma detallada el procés complet que s'ha seguit per a la laminació d'un dels pedals amb el mòdul ACP. (Annex B)

A continuació es presenta una taula on es representa cada pedal amb el número de lamine corresponent, el gruix i la orientació de cadascuna de les capes que el conformen:

Taula 7 Assignació de lamine i gruix corresponent a cadascun dels pedals

Columna1	Nº CAPES	Gruix (mm)	Orientació de cadascuna de les lamine
Pedal 01	2	0,88	0/45
Pedal 02	4	1,76	0/45/90/-45
Pedal 03	6	2,64	0/45/90/-45/0/45
Pedal 04	8	3,52	0/45/90/-45/0/45/90/-45
Pedal 05	10	4,4	0/45/90/-45/0/45/90/-45/0/45
Pedal 06	12	5,28	0/45/90/-45/0/45/90/-45/0/45/90/45

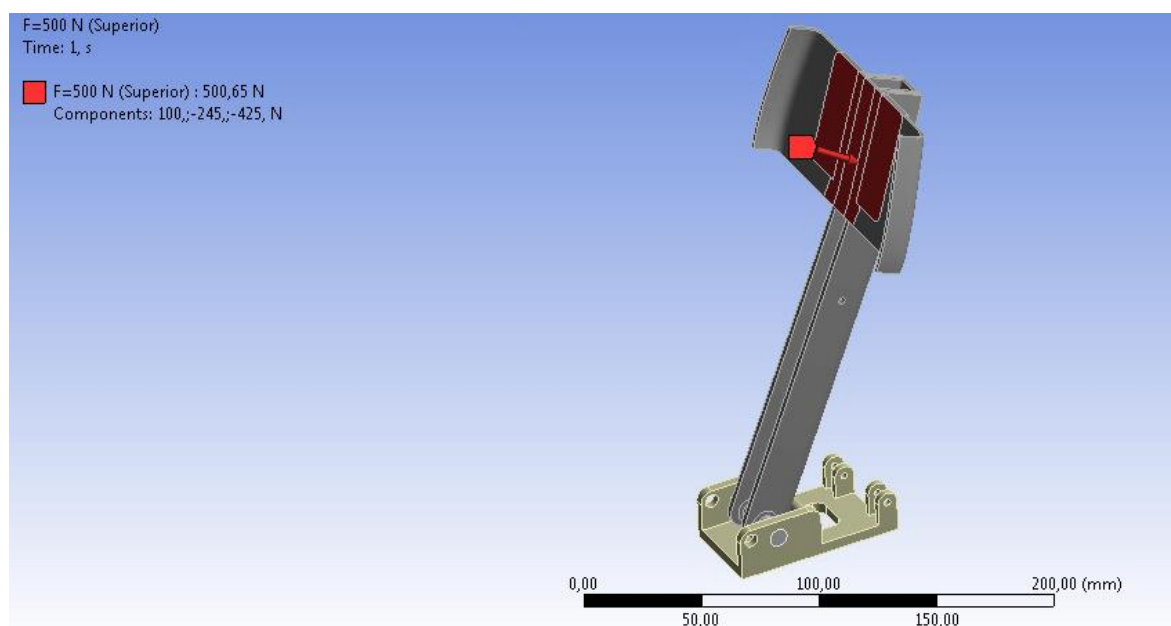
Per facilitar l'estudi, s'ha simulat l'estructura del pedal suposant una carrega en el punt més crític; es a dir, aquell en el que el pedal ha arribat al seu final de cursa i el pilot continua exercint força.



Il·lustració 5.36 Condicions de simulació (a)

L'objectiu d'aquesta simulació a part de determinar les capes mínimes que seran necessàries a l'hora de fabricar el pedal, es comprovar les reaccions que sofreix aquest quan se li apliquen les forces durant el seu ús, i comprovar si té la capacitat de suportar sense fallides i dins dels marges de desplaçaments desitjats.

Pel que fa a la força estàtica, a la taula següent es mostra la força que s'aplicarà en el punt mig de la superfície de contacte del pedal. Una força produïda pel pilot de 500 N (50 Kg) en direcció longitudinal.



Il·lustració 5.37 Condicions de simulació (b)

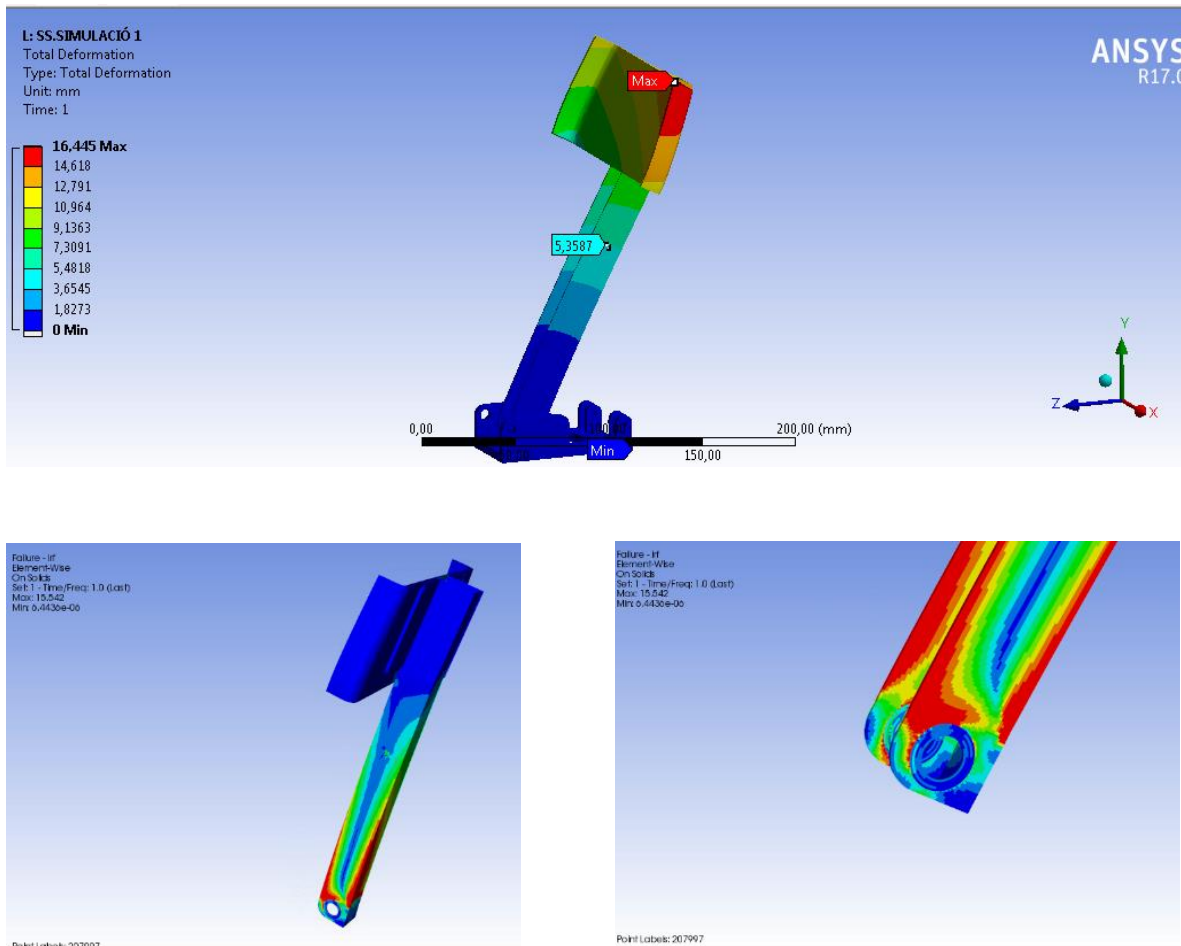
Taula 8 Components de la força aplicada

Total	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)
500 N	100	-245	-425

Les simulacions s'han efectuat progressivament de menor a major segons la quantitat de lamine assignades a cadascun dels pedals. D'aquesta forma, es podrà observar com a mesura que s'augmenten les lamine del pedal, la deformació d'aquest i la quantitat d'elements que fallin seran cada cop inferiors, però en conseqüència anirà augmentant el pes.

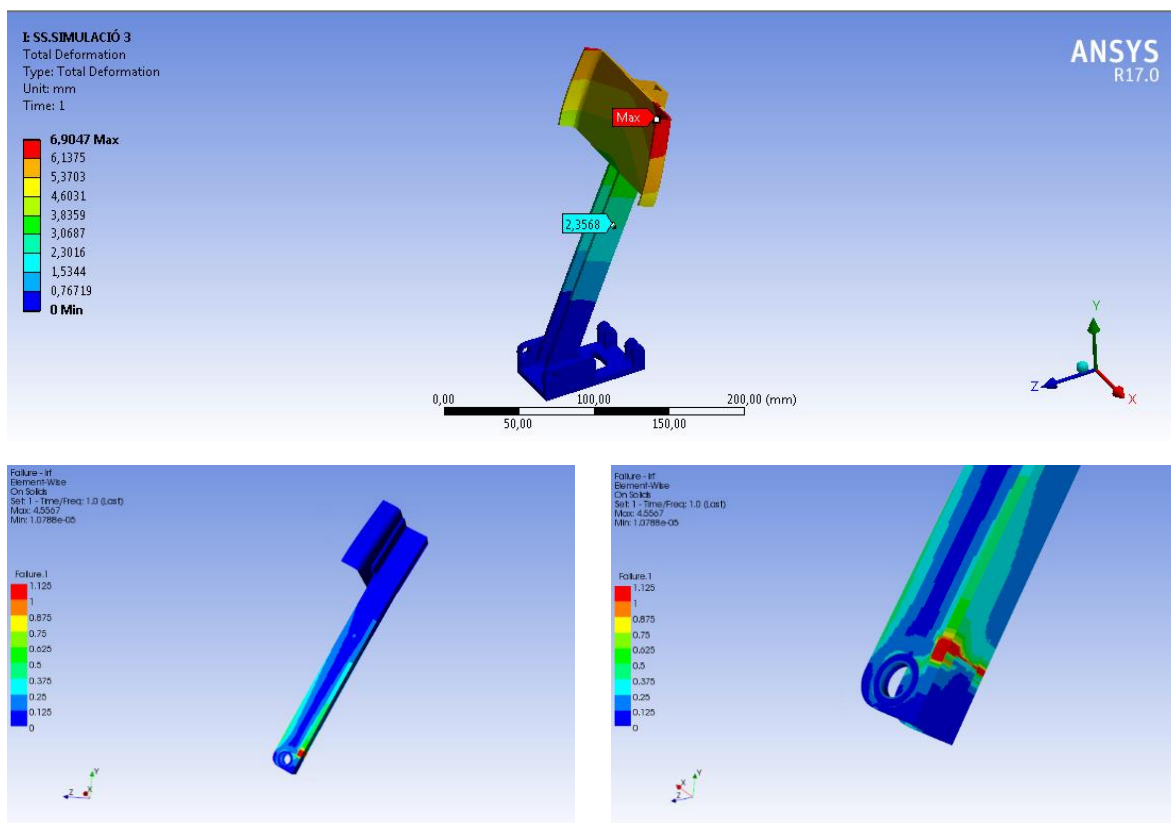
A tot això, l'objectiu es escollir aquell pedal que mostri una resistència que suporti les forces sense ruptures ni deformacions excessives i al mateix temps tingui el menor número de lamine.

A continuació es mostren els resultats de deformació total dins el mòdul *Static Structural* i els criteris de fallida a partir del mòdul *ACP Post* per a cadascun dels pedals simulats.

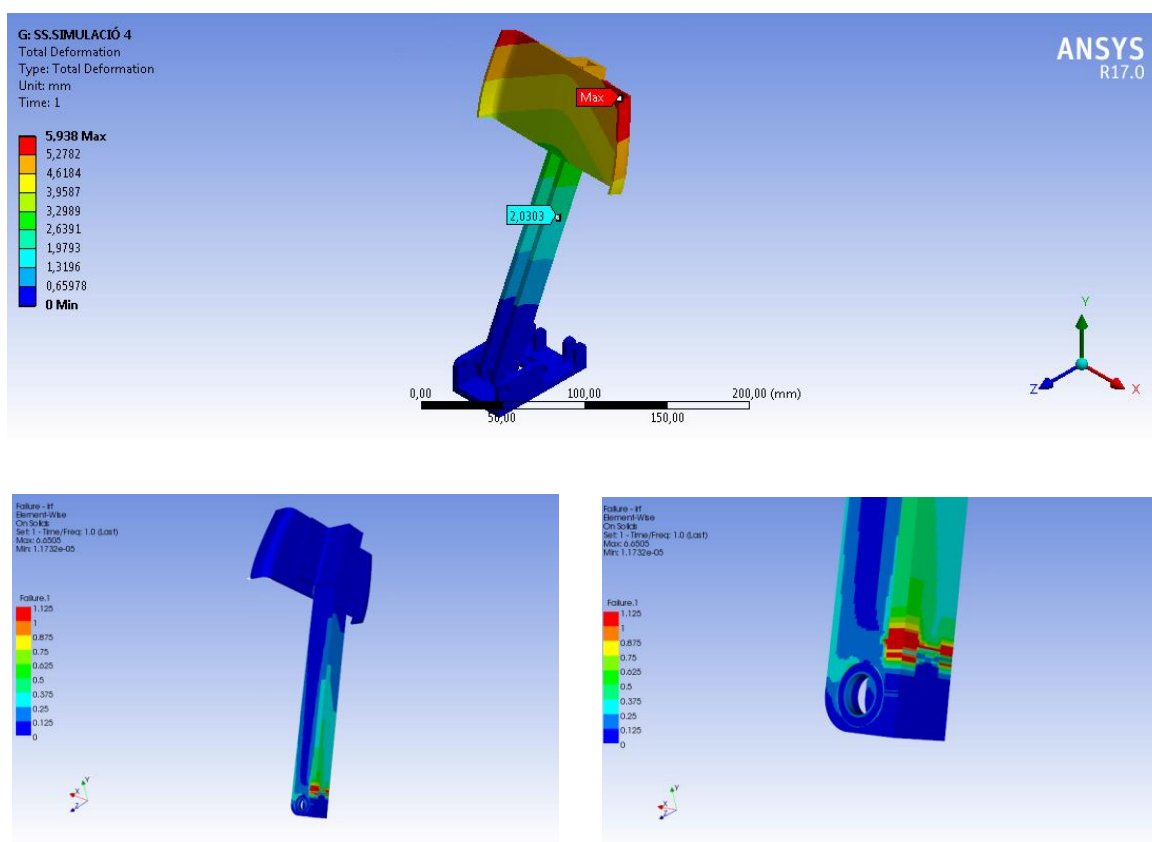


Il·lustració 5.38 Simulació pedal 01 - 2 capes

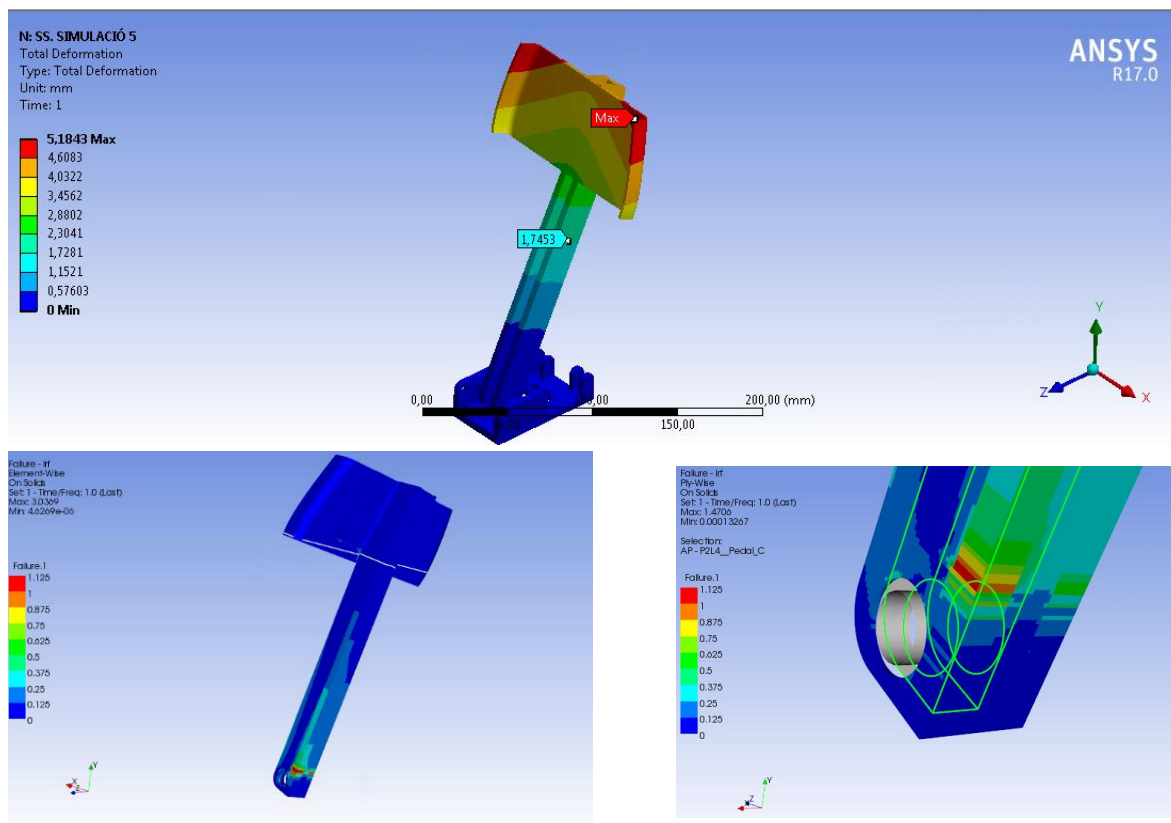
Observant els resultats obtinguts de la simulació del *pedal 01*, aquest té una deformació màxima de 16,44 mm la qual cosa és un valor excessivament gran, al mateix temps pateix fallida en diverses zones, es per això, que es va valorar que el pedal següent a simular no fos el *pedal 02* de 4 capes, ja que la preparació cadascuna de les simulacions comporta molt temps i els resultats que s'obtidrien no serien significatius, per tant s'ha continuat a partir del *pedal 03* de 6 capes.



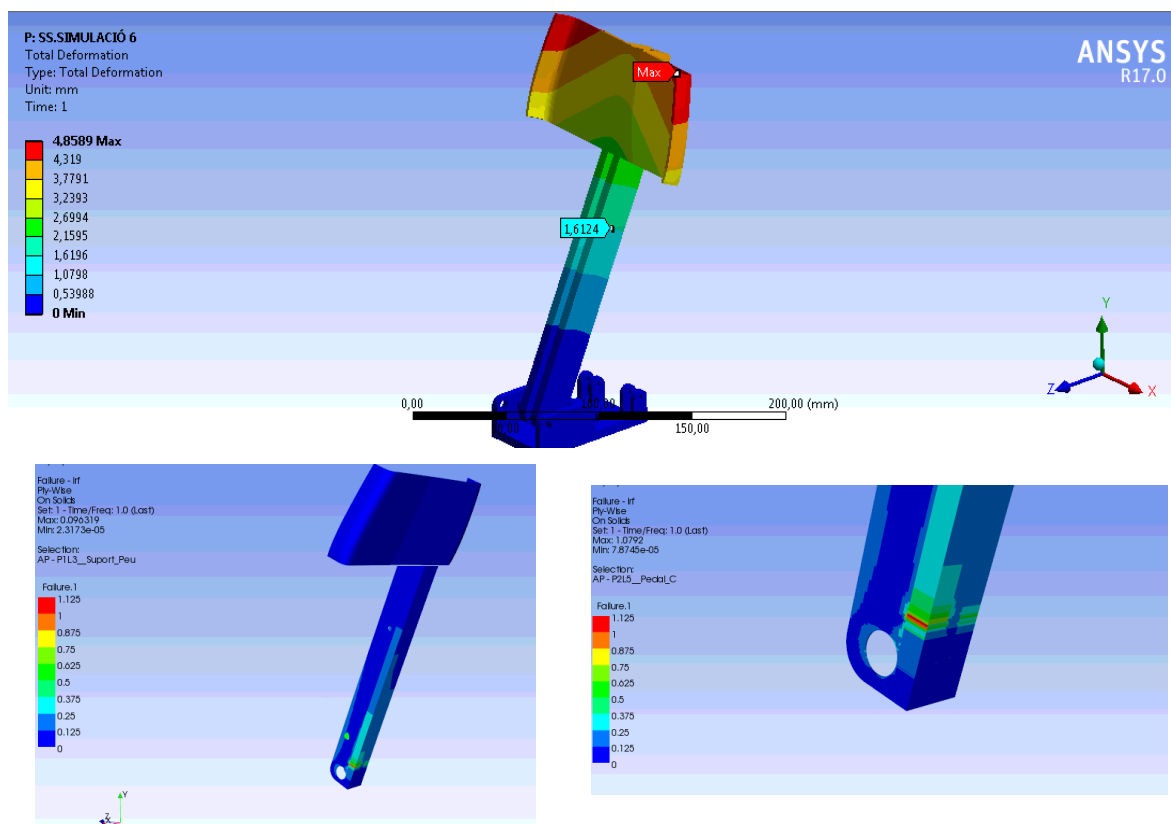
Il·lustració 5.40 Simulació pedal 03 - 6 capes



Il·lustració 5.39 Simulació pedal 04 - 8 capes



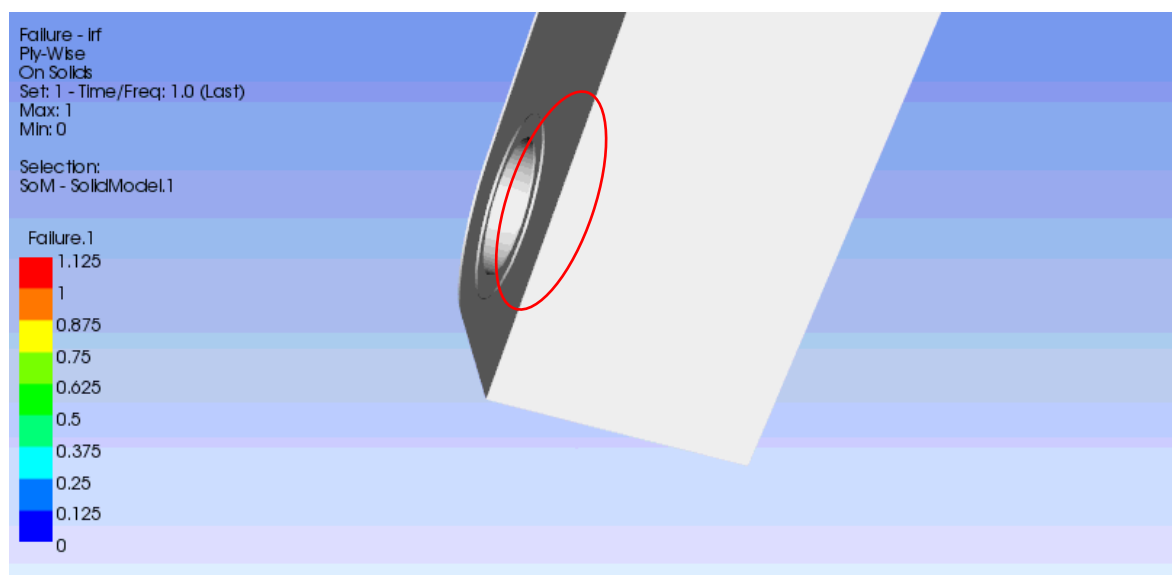
Il·lustració 5.41 Simulació pedal 05 - 10 capes



Il·lustració 5.42 Simulació pedal 06 - 12 capes

A la vista dels resultats anteriors, s'observa com a partir fins del *pedal 04* de 8 capes , presenta una deformació al voltant de 2 mm en la zona del pedal on es fixen els sensors.

Com era d'esperar en totes les simulacions, on és localitzen tensions és en l'àrea de contacte del pedal amb el topall mecànic. Cal apuntar que la laminació del pedal a través del software no té una correlació amb la realitat del 100% aquest interpreta que el pedal té una forma rectangular perfecta i les cantonades són rectes, tal i com es mostra a la il·lustració següent:



Il·lustració 5.43 Representació de cantonades del pedal laminat amb ANSYS

EL pedal que s'obtindrà un cop fabricat, no presentarà cantonades rectes sinó arrodonides (degut al mètode de fabricació utilitzat), i d'aquesta forma repartint les tensions acumulades. Es per tant, que podem considerar que aquestes fallides provocades per les tensions que mostra les simulacions no es produiran de la mateixa forma.

A partir de les simulacions realitzades es pot concloure que el pedal que s'ajusta més als requisits previs i amb menys quantitat de material és el *pedal 05* fet a partir de 10 lamine i amb un gruix de 4.4 mm. Aquest presenta una deformació màxima de 5,18 a l'extrem del pedal i una deformació de 1,74 mm on es localitzen el sensors, es per tant que entra dins els requisits establerts anteriorment.

Per altra banda, considerem que la fallida que es mostren a les cantonades del pedal (il·lustració 5.40), , no es produiran per lo explicat anteriorment i per tant es considera que la fibra no arribarà al seu punt de fallida.

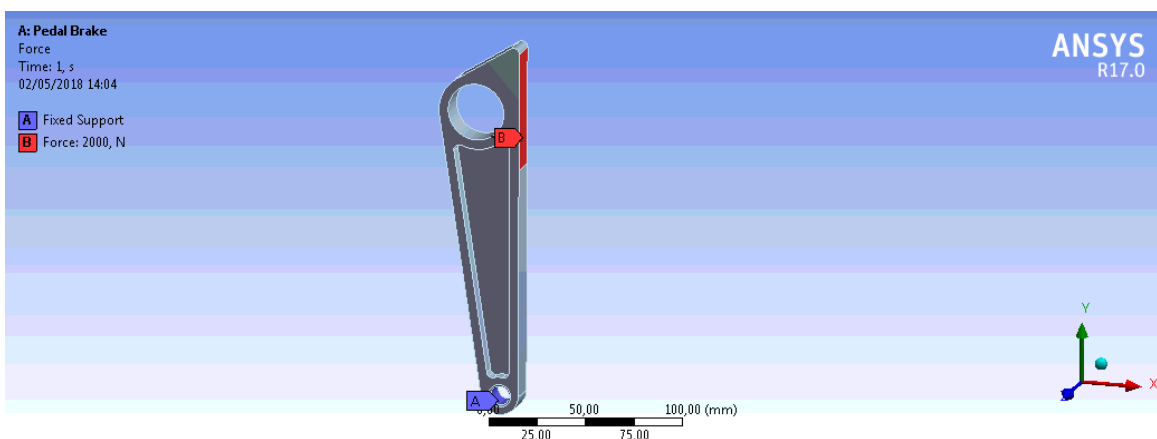
5.4.2. Simulació pedal de frenada

Una vegada modelada la peça en el programa de disseny en CAD, es procedeix a verificar que aquesta suportarà els esforços durant la competició i no hi haurà trencaments.

Segons normativa el pedal ha de suportar una força mínima sense trencar-se de 2kN, es per tant, que es selecciona el màxim esforç que marca la normativa que ha d'aguantar el pedal per tal d'assegurar el compliment de la normativa i mostrar als jutges a partir de les simulacions fetes, que aquesta peça compleix amb ella.

No obstant cal tindre en consideració que en el cas que aquest sigui posat a prova, serà a través d'una puntada de peu per qualsevol dels jutges de la competició. En efectes reals, 2kN suposen al voltant d'uns 200 Kg, que a la pràctica és una força molt difícil quasi impossible d'exercir per un personal adulta amb una sola cama, per la qual cosa el factor de seguretat mínim s'estableix en 1.

Com es pot veure a la següent la il·lustració s'aplica la càrrega a la cara frontal del pedal en la direcció corresponent a la força exercida pel pilot, mantenint l'eix de rotació en estat fixa, fent treballar la peça a flexió.

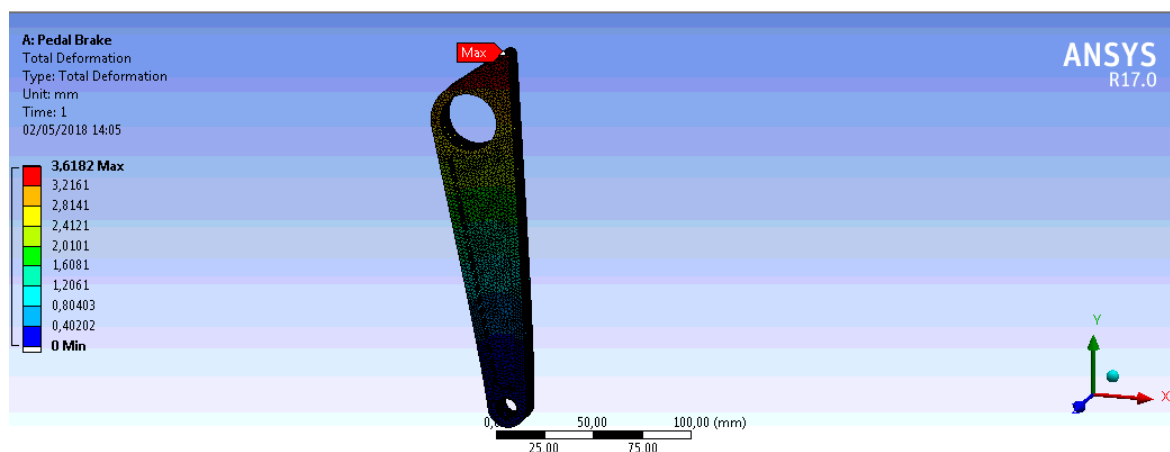


Il·lustració 5.44 Condicions de simulació pedal

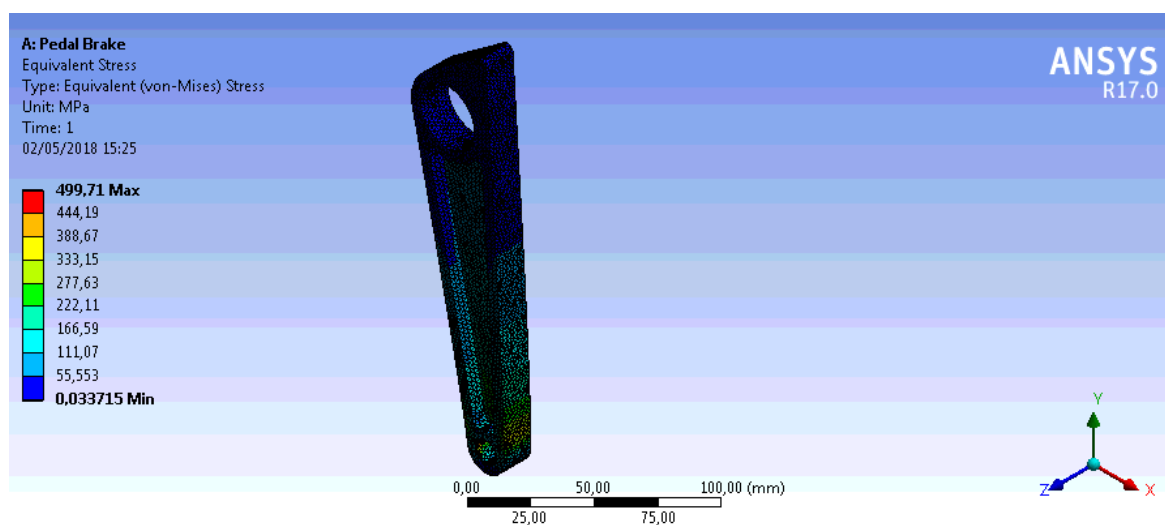
En el punt de pivot hauria de permetre's la rotació del pedal i de manera similar el pivot de la barra d'equilibri hauria de limitar-se a la línia de moviment de la bomba. En aquest cas s'ha volgut simplificar la simulació, ja que cal apuntar que el programa ANSYS no facilita introduir aquestes condicions de contorn per tal que s'aproximi més a les restriccions reals que establertes en la peça.

El criteri de fallida de Tensió de Von Mises és àmpliament utilitzat per a comprovar si el disseny pot suportar les condicions de contorn assignades al model geomètric, on s'avalua l'energia que ha distorsionat el material mitjançant la seva deformació.

Els resultats obtinguts es mostren a les següents imatges dins el mòdul d'ANSYS *Static Structural*.



Il·lustració 5.46 Deformació del pedal



Il·lustració 5.45 Diagrama Von Mises pedal de fre

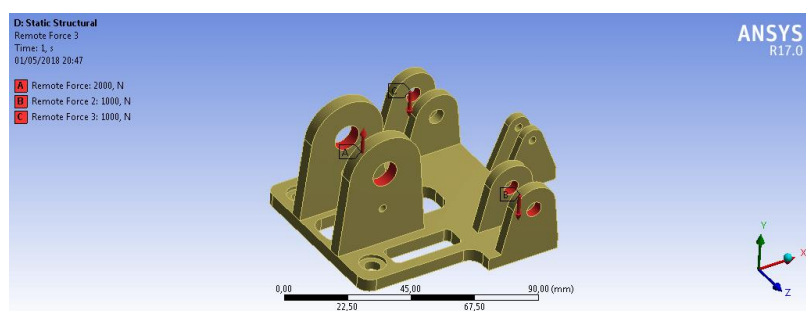
El valor màxim de la tensió és de 499,71 MPa amb una deformació màxima de 3,61 mm.

Com es pot observar no es superen els valors de tensió garantits pel material del fabricant al seu certificat (Al 7075 T6, presentat a l'Annex C.13). Per tant, es garanteix que la peça suportarà els esforços que estableix la normativa sense tindre fallida.

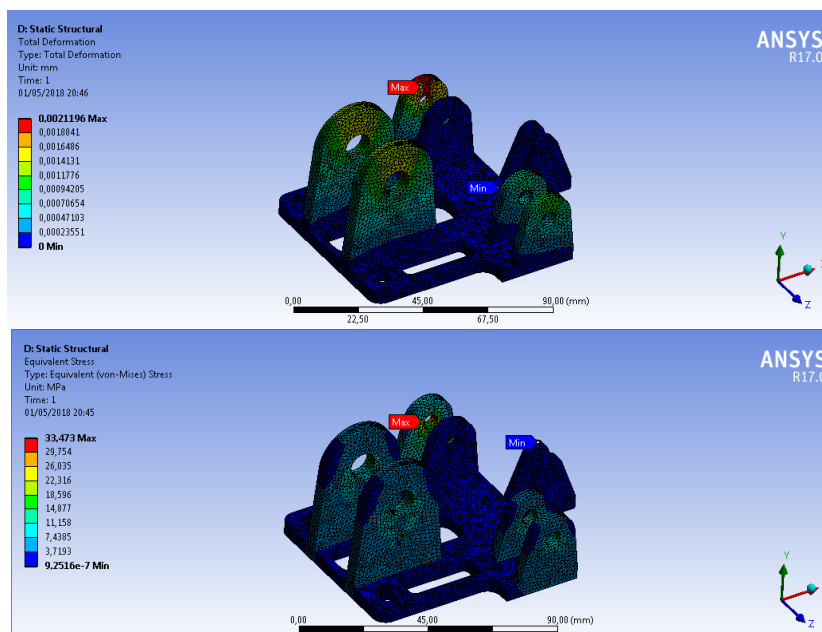
5.4.3. Base de subjecció pedal de frenada

Al ser la peça de subjecció del pedal de fre el component que suporta més esforç juntament amb el pedal. S'ha simulat l'estructura per validar el seu disseny. Cal apuntar que aquesta peça, igual que el pedal estarà fabricada d'alumini 7075 T6.

S'han aplicat càrregues remotes separades dels punts de subjecció, simulant les càrregues que exerceixen els elements els quals suporta l'estructura. La càrrega aplicada en l'eix de rotació del pedal és de 2kN de força en sentit vertical. De la mateixa forma també s'aplica una força de 1kN en sentit contrari (cap a baix), per a cadascun dels punts de subjecció de les bombes.



Il·lustració 5.48 Forces aplicades a base del pedal de fre



Il·lustració 5.48 Diagrama de deformació màxima (imatge superior) i de Von Mises que patirà a peça

Observant els resultats obtinguts, es conclou que la peça suportarà perfectament els esforços sense patir cap fallida ni deformacions que puguin distorsionar la geometria dels elements amb els quals interacciona.

5.5. Assemblatge

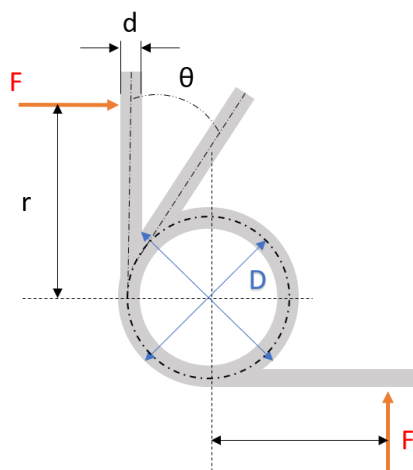
5.5.1. Elements a tindre en consideració

En el següent apartat, es descriuran tots aquells components que no han estat descrits anteriorment però són necessaris per l'assemblatge i el correcte funcionament de tot el conjunt.

5.5.1.1. Anàlisi i selecció de molla de retorn

Les molles helicoidals a torsió són utilitzades per a aquelles aplicacions on es necessita de l'aplicació d'un parell torsional.

Les equacions següents són per a molles fabricades amb filferro amb corda de piano encara que de forma aproximada poden utilitzar-se per a altres materials:



Il·lustració 5.49 Anàlisi d'esforços molla torsional

Les equacions que descriuen les forces exercides per una molla a torsió venen d'escrites de la següent forma:

Una molla a torsió està sotmesa a l'acció d'un esforç de moment que es defineix com:

(Eq. 5.04)

$$M = F \cdot r$$

La constant elàstica K d'una molla a torsió es defineix com la relació entre el parell de torsió produït per la força F actuant i la deformació angular que origina aquesta:

(Eq. 5.05)

$$K = \frac{F \cdot r}{\theta}$$

La constant K de la molla a torsió se sol expressar en unitats de kg·cm per radiant, i es pot explicar com el parell necessari per a desplaçar el molla una volta.

Per a calcular la deformació angular θ s'haurà de partir de l'expressió que proporciona l'energia de deformació U del moll sotmès a un moment $M = F \cdot r$, que ve donada com:

(Eq. 5.06)

$$U = \int \frac{M \cdot dx}{2 \cdot E \cdot I}$$

D'altra banda, el teorema de Castigliano estableix que quan actuen forces sobre sistemes elàstics, el desplaçament (Δ) corresponent seguit per qualsevol força, pot obtenir-se a partir de la derivada parcial de l'energia de deformació respecte a aquesta força:

(Eq. 5.07)

$$\Delta = \frac{dU}{dF}$$

En aquest cas, la força F de deformació es desplaçarà a través de la distància $r \cdot \theta$. Per tant, aplicant el teorema de Castigliano:

(Eq. 5.08)

$$\Delta = r \cdot \theta = \frac{dU}{dF}$$

Substituint l'expressió de l'energia de deformació U en l'expressió anterior resulta que:

(Eq. 5.07)

$$r \cdot \theta = \int \frac{d}{dF} \frac{F^2 r^2 dx}{2 \cdot E \cdot I}$$

Integració que haurà d'estendre's a tota la longitud del filferro, és a dir, entre els límits $x=0$ fins a $x=\pi \cdot D \cdot N$.

(Eq. 5.09)

$$r \cdot \theta = \int_0^{\pi \cdot D \cdot N} \frac{F \cdot r^2 dx}{E \cdot I}$$

On per un filferro rodó:

(Eq. 5.10)

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$$

Finalment, aïllem la deformació angular θ i resolent la integració de l'expressió anterior, resulta finalment:

(Eq. 5.11)

$$\theta = \frac{64 \cdot F \cdot r \cdot D \cdot N}{E \cdot d^4}$$

Substituint en equació 5.05 descrita anteriorment, es podrà obtenir la constant elàstica K de la molla:

(Eq. 5.12)

$$K = \frac{E \cdot d^4}{64 \cdot D \cdot N}$$

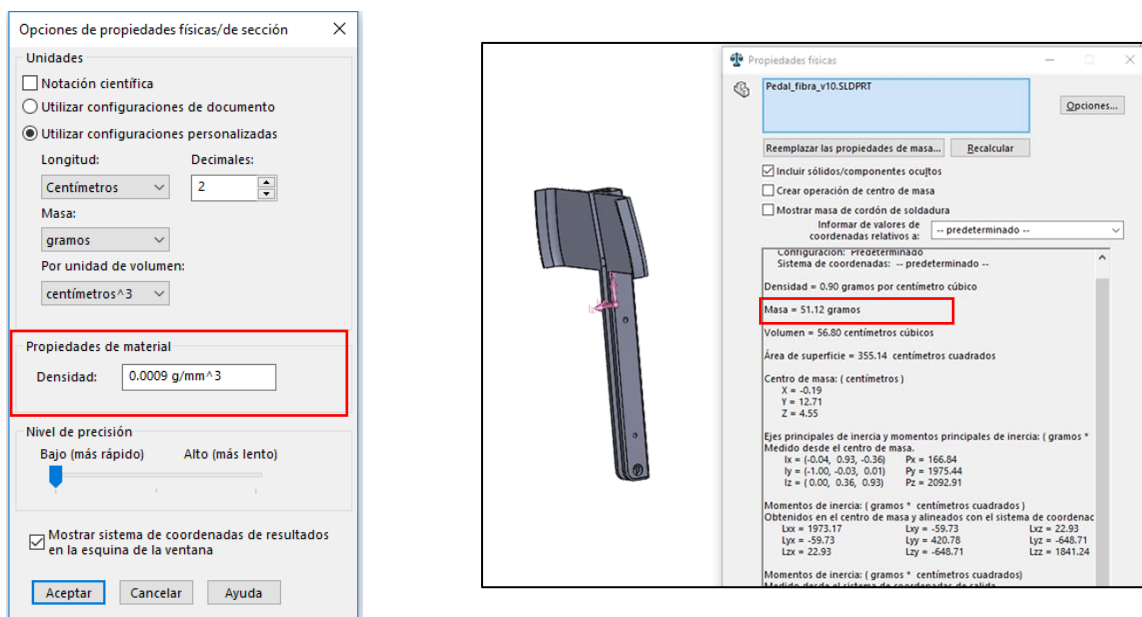
On:

- E és el mòdul d'elasticitat del filferro de la molla
- d és el diàmetre del filferro
- D és el diàmetre de l'espira de la molla
- N és el número d'espores actives que formen el moll.

Per calcular la força que haurà d'exercir la molla pel retorn del pedal accelerador, cal abans calcular el pes d'aquest i quina serà la distància des del seu centre de masses a l'eix de rotació.

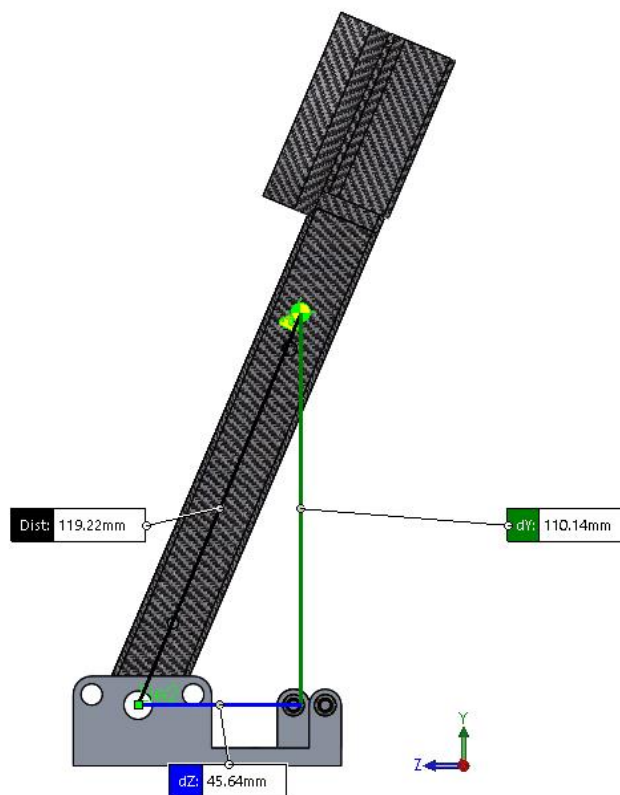
La fibra prepeg la qual es fabricarà la peça, té un gramatge de 400 g/m² per un gruix 0,44 mm per lamina. Es per tant, que cada lamina d'1 m² té un volum equivalent a 0,00044 m³ i una massa de 400 gr. A partir d'aquí es concreta que la densitat d'aquesta fibra serà de 900,90 Kg/ m³ o 0,9009 g/ cm³. Un cop obtinguda la densitat de la fibra, es calcula el pes a través del programa Solid Works.

En les següents il·lustracions es mostra com el programa permet extreure la massa exacte d'una peça a partir d'assignar-li un material qualsevol amb la densitat definida prèviament per l'usuari, de la mateixa manera també es capaç de determina el centre de masses de la peça en qüestió.



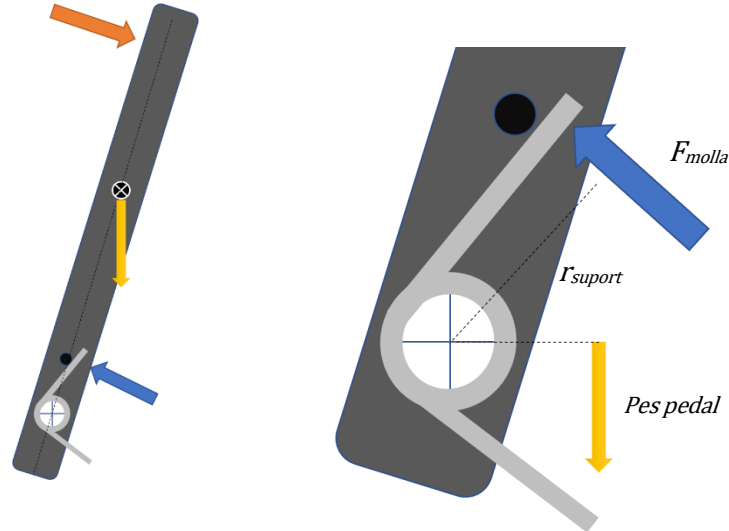
Il·lustració 5.51 Determinació de la massa pedal accelerador

La massa del pedal a fabricar serà de 51,12 g. A continuació es determina horitzontal la distància que va des de l'eix de rotació al centre de masses d'aquest, que és 45,64 mm.



Il·lustració 5.50 Distància des de l'eix de rotació fins al centre de masses del pedal accelerador

La molla ha d'exercir una força sobre el pedal suficientment gran per tal que aquest retorni amb una certa força i tingui un tacte còmode pels pilots, al mateix temps encara que aquest sigui baix haurà de contrarestar el pes del pedal.



Il·lustració 5.52 Croquis forces molla

Es per tant que el moment que haurà d'exercir la molla vindrà donat per:

(Eq. 5.13)

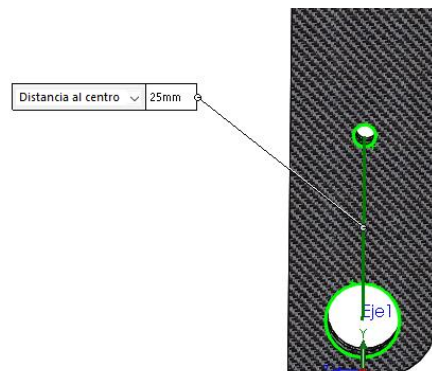
$$M_{molla} = M_{pes\ pedal} + M_{retorn\ pedal}$$

On:

(Eq. 5.14)

$$F_{molla} \cdot r_{suport} = F_{pes.p} \cdot r_{CGpedal} + F_{retorn\ pedal} \cdot r_{aplic.F.pilot}$$

Donat el punt de suport que s'ha fixat a una distància de 25 mm respecte l'eix de rotació.



Il·lustració 5.53 Distància a l'eix del suport molla

Per altra banda s'ha determinat que la força de retorn del pedal sigui de 20 N que a una distancia de 170 mm de l'eix de rotació (considerat el punt mig d'aplicació de la força pels pilots) és equivalent a un moment torçor de 3,4 N·m que a una distancia de 25 mm equival a una força de 136 N.

Substituint en l'equació 5.14 donada anteriorment:

$$F_{mottle} = \frac{((0,05112 \text{ kg} \cdot 9,81) \cdot 0,04564 \text{ m}) + (136 \text{ N} \cdot 0,025 \text{ m})}{0,025 \text{ m}}$$

$$F_{mottle} = 136,91 \text{ N}$$

Es per tant que la molla haurà d'exercir una força de 136,91 N a una distancia r de 25 mm des de l'eix de rotació del pedal. Equivalent a un moment torçor de 3,422 N·m.

A partir d'aquesta dada, i coneixent que la deformació angular θ serà de 23° (0,4041 rad), a partir de l'equació 5.12 s'extrau la constant mínima que ha de tindre la molla:

$$K = 8,25265 \text{ N} \cdot \text{m} / \text{rad}$$

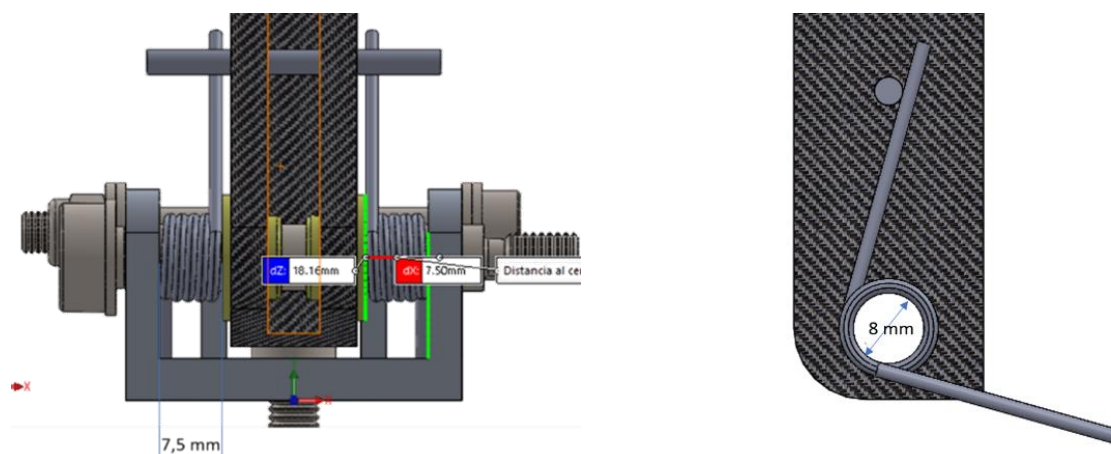
Expressat en N·cm /rad:

$$K = 825,262 \sim 825 \text{ N} \cdot \text{cm} / \text{rad}$$

Cal recordar que la normativa imposa que el pedal accelerador ha d'incorporar dues molles per retornar el pedal a la posició inicial, es per tant que les molles a seleccionar han de tindre una costant mínima de 412,5 N · cm /rad o 7,45 N · cm/°.

A partir d'aquí la opció més viable ha estat la de contactar amb la empresa Muelles Chrome (patrocinador de l'equip) per tal d'escollir les molles comercials que s'ajustessin al sistema, ja que la fabricació personalitzada d'una molla no es fa a no ser que sigui a gran escala o a un preu elevat.

Cal apuntar que l'espai ocupat per les molles estarà limitat tant per la base de subjecció, com l'eix de rotació de diàmetre 8 mm, tal i com s'observa a la següent imatge:



Il·lustració 5.54 Localització molla retorn

Finalment les molles seleccionades han estat un DIN 2089 TOLE7378-L i DIN 2089 TOLE7163-R; comentar que tenen codis diferents ja que no són molles iguals sinó simètriques, les característiques d'aquestes es mostren a l'Annex C9 i C10.

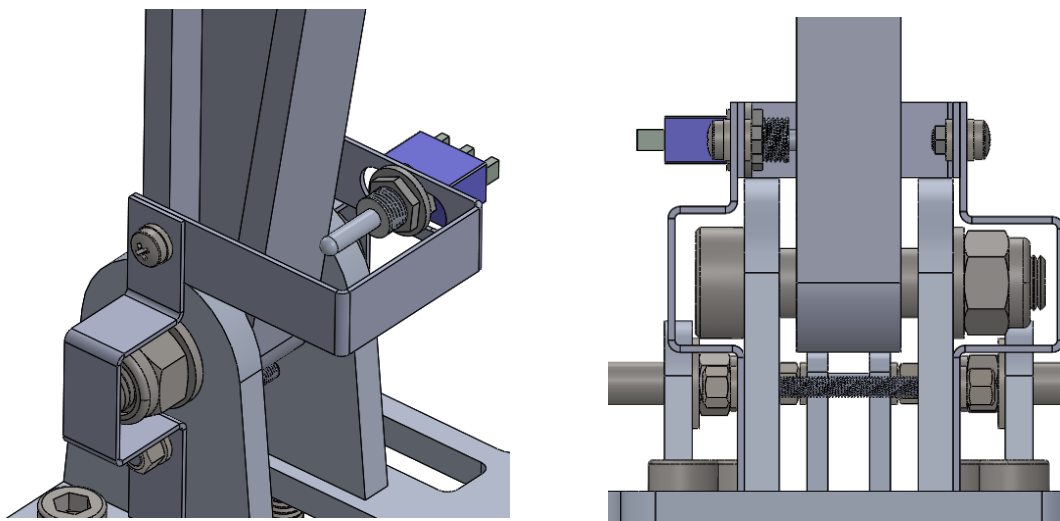
5.5.1.2. Muntatge i posicionament de l'interruptor BOTS

L'interruptor BOTS (*Brake Over Travel System*) ha d'estar posicionat a una certa distància del recorregut del pedal de frenada sense que aquest s'activi, a no ser, com s'ha esmentat anteriorment que el sistema de frens pateixi un fuga i en conseqüència desplaci el pedal fora del seu rang de funcionament normal. L'interruptor a utilitzar serà un interruptor analògic de dues posicions de la marca RS PRO.



Il·lustració 5.55 Interruptor analògic (RS PRO)

Per permetre un calibratge precís, el posicionament del BOTS s'ha dissenyat amb una simple estructura formada per diverses xapes metàl·liques per tal que sigui fàcil de modificar i s'ajusti a la distància optima tal i com es mostra a la imatge:



Il·lustració 5.56 Posicionament BOTS

Aquestes seran fabricades a partir de lamines d'Alumini 5454, amb un gruix de 0.88 mm. Seran tallades per l'empresa especialitzada en tall làser i col·laboradora amb l'equip Goded.

El posicionament final es determinarà de forma experimental un cop el sistema sigui fabricat i durant el període de "testing" del monoplaça, provocant un escapament de líquid del sistema per tal de posicionar correctament l'interruptor, ja que no es pot suposar sinó es de forma empírica quin serà el desplaçament del pedal en funcionament.

La posició més assenyada serà aquella en la qual l'interruptor s'activi si i només si, es produís una fallida o fuga del sistema de frens.

5.5.1.3. Incorporació del sistema d'ajustabilitat

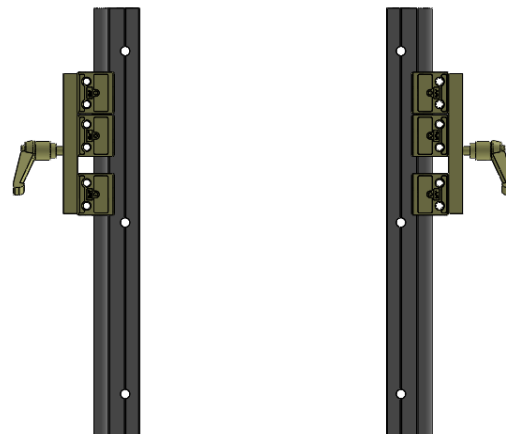
Per tal que la plataforma que suporta els pedals sigui mòbil i permeti una adaptació del sistema ràpida i precisa, es decideix incorporar un sistema de guies d'ajustabilitat ràpida a través d'un sistema de frens autoblocants, mantenint en tot moment l'objectiu de baix pes.

Sota aquestes premisses, es va mantenir una reunió amb l'empresa IGUS (empresa col·laboradora amb l'equip) amb motiu que assessoressin en l'elecció de les guies que s'adaptessin millor al sistema i al mateix temps poguessin resistir la força aplicada pels peus del pilot, així com poder absorbir les forces externes que es puguin aplicar a causa d'un desplaçament desiguals durant la conducció,

El model de guies escollit, ha estat el conjunt de guies individuals WS-10 de 300 mm longitud, juntament amb el fre lineal WHKD-1010 per cadascuna de les guies. Les característiques de cadascun d'aquest components es mostren a l'Annex C5 i C6.



Il·lustració 5.58 Fre lineal d'autoblocatge WHKD-1010 (IGUS)

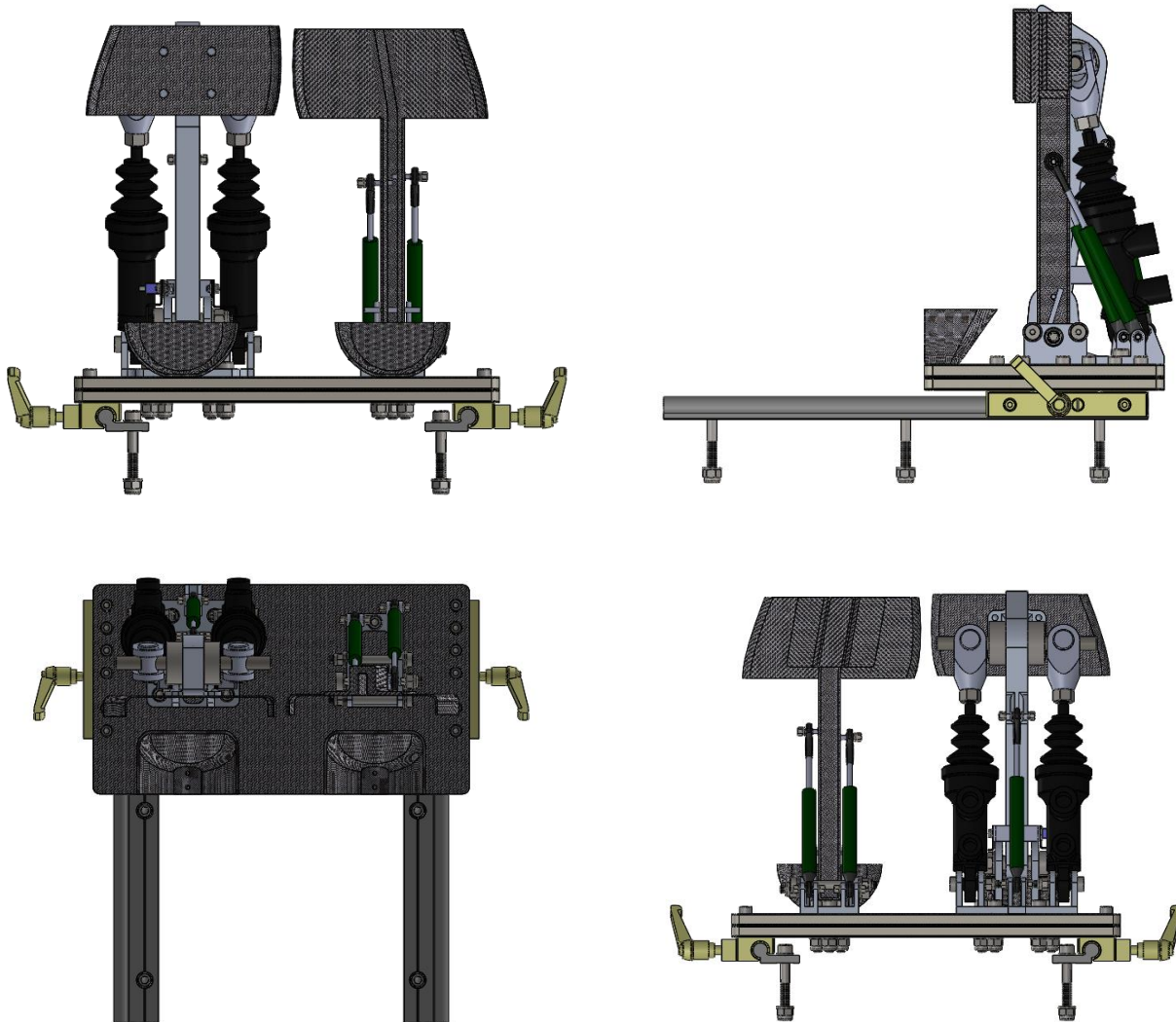


Il·lustració 5.58 CAD Guies WS-10 (IGUS)

El gran avantatge que ofereix aquest sistema, és la facilitat amb la que es pot acollar o afluixar de forma ràpida i segura, degut que no es necessària cap tipus d'eina per tal ajustar-lo. Això permetrà una ràpida ajustabilitat i en conseqüència cobrir un dels objectius de disseny de reduir en menys de 30 segons el temps en el canvi de pilot durant la prova d'*Endurance*.

5.5.2. Assemblatge Final

Finalment es procedeix a assemblejar els subsistemes en un sol, donant lloc al sistema al complet.



Comentar que a l'Annex C12 es trobarà un llistat de tots els elements d'unió normalitzats utilitzats pel muntatge dels diferents elements i adquirits gràcies al patrocini que manté l'equip amb l'empresa Tormetal. Al mateix temps també es troba una taula (Annex D) amb els pesos de cadascun dels component que el conformen; donant un pes total al conjunt de 2,1 Kg.

6. Fabricació

La fabricació no es descriurà amb màxim detall ja que no és l'objectiu del treball, no obstant s'exposaran de forma resumida els mètodes que s'han escollit per fabricar cadascuna de les peces principals del sistema. La fabricació és un procés fonamental a tenir en compte durant al llarg de tot el disseny, ja que com s'ha vist pot condicionar per complet el disseny d'una peça.

Per fer-ho més comprensible, s'explicarà per apartats segons el mètode de fabricació que han de seguir les peces per ser produïdes.

6.1. Mètodes de fabricació amb materials compostos

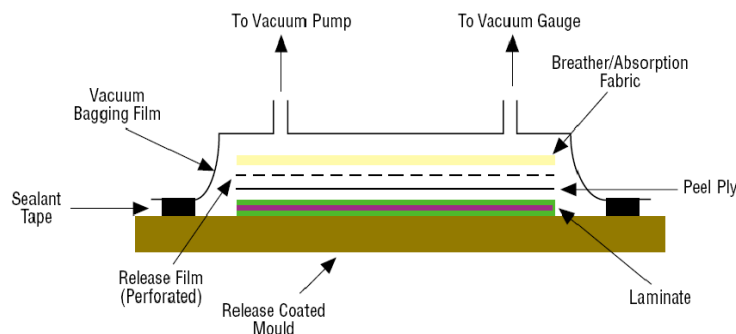
Troblem varies peces el conjunt, que es fabricaran a partir de compostos de fibra de carboni. Aquestes corresponent al *foot suport*, les taloneres i el pedal accelerador

Existeixen diferents mètodes per a la fabricació de peces en fibra de carboni, dintre d'aquests, la fabricació per infusió al buit i per fibres prepeg són els mètodes més extensos dins el món de l'automobilisme de competició. La seva principal diferència entre els dos mètodes és l'estat inicial en que es troben les fibres.

En el cas de l'equip e-Tech Racing, l'empresa que col·labora i proporcionarà la fibra, és l'empresa Gurit, per altra banda l'empresa Nexus Projectes, és qui permet i posa a disposició les seves instal·lacions així com tots aquells materials/productes necessaris per portar a cap el procés de laminat i fabricació de qualsevol de les peces. (Annex C14)

6.1.1. Fabricació per infusió al buit

Aquest mètode consisteix a col·locar els teixits de fibres seques en un motlle tancat amb una bossa de buit o amb un contramol·le específicament dissenyat per a injectar la resina i ajudar al fet que refluï per la fibra gràcies a l'aplicació de buit, com es pot veure a la següent il·lustració.



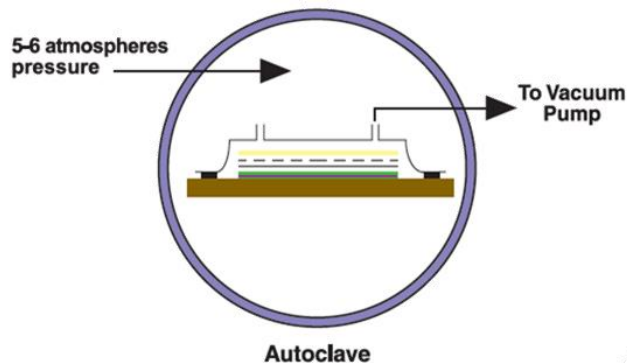
Il·lustració 6.1 Esquema de laminat per infusió.

Tots els materials són preparats en sec, i es fixen en el seu lloc per mitjà d'un adhesiu, fins al tancament de la bossa de buit. A continuació s'inicia l'entrada de resina catalitzada, que és succionada per mitjà del buit, i és repartida estratègicament per tot el laminatge. El buit proporciona una laminació de gran compactació, amb continguts de fibra de més del 60%. El resultat és una millora de les propietats mecàniques, qualitat mantinguda en tota la producció i un estalvi dels costos de fabricació.

Les peces obtingudes mitjançant aquest procediment poden garantir una proporció de fibra molt elevada amb continguts d'aire atrapat a l'interior de la peça molt baixos, a més si s'utilitza un contramol·le permet l'obtenció de peces on totes les cares tenen un bon acabat superficial. En el cas taloneres i dels *foot suport* no es necessita d'un bon acabat superficial en la cara interior, es per tant que només serà necessari un motlle i s'utilitzarà una bossa de buidat.

6.1.2. Fabricació per prepeg

El *prepeg* és una fibra de carboni preimpregnada, la qual cosa significa que la resina ja està dins de l'estructura reticular del teixit de carboni. Els preimpregnants es col·loquen a mà sobre la superfície del motlle, s'envasen al buit i després s'escalfen a 120-180°C. Això permet que la resina es refluï inicialment i a continuació es curi. La pressió addicional per al modelat es proporciona mitjançant un forn autoclau (un forn pressuritzat) que pot aplicar fins a 5 atmosferes al laminat.



Il·lustració 6.2 Representació forn autoclau (Nexus Projectes)

L'avantatge d'aquest tipus de fibra és que pot col·locar-se fàcilment, fent que sigui un procés ràpid, la qual cosa permet un augment de la producció, al mateix temps té uns acabats d'una major qualitat comparativament amb la fabricació per infusió.

L'ús de teixits *prepregs* redueix els costos de manipulació i permet un molt bon control de la proporció volumètrica entre la fibra i la matriu. La fibra *prepeg* és preimpregnada pels fabricants de la mateixa; aquests estudien les proporcions exactes entre volum de fibra i matriu per tal d'assegurar unes prestacions mecàniques òptimes del laminat.

És un mètode que ofereix garanties mecàniques i és àmpliament utilitzat en aplicacions com a xassís de F1 o components estructurals per a avions, ja que es poden aconseguir peces amb un volum de fibra molt alt, pel que són més lleugeres que les fabricades per infusió.

Aquest tipus de fabricació dota a la peça fabricada d'un augment de la resistència mecànica, reducció del pes, espessor i un millor acabat superficial. Aquest procés posseeix una millor relació resina/fibra a causa de la reducció de la quantitat de resina utilitzada. Es per aquets motius es decideix que la fabricació per *prepeg* serà el procés utilitzat per a la peça del pedal accelerador.

6.2. Mecanitzats

Pedal de frenada i bases de subjecció

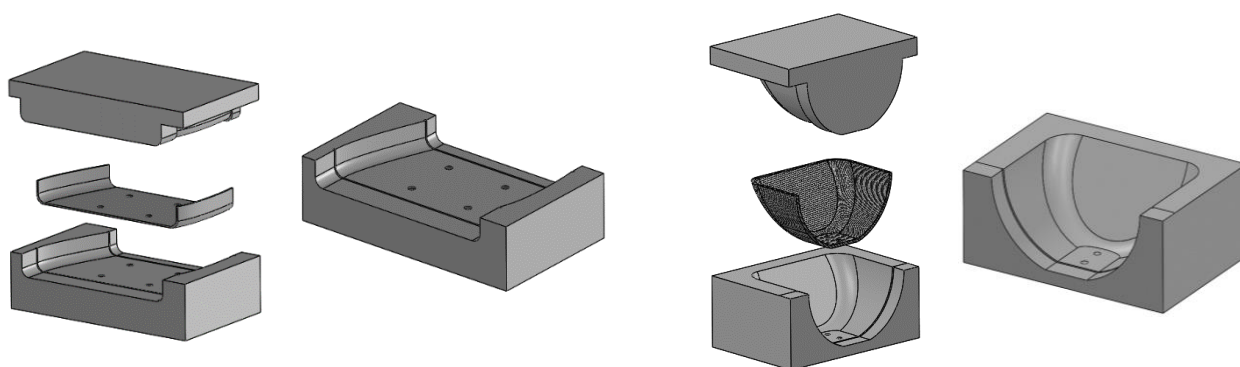
La mecanització del pedal de fre i les bases de subjecció dels pedals estaran fets a partir de blocs d'alumini 7075 T6. La maquinària utilitzada en el procés serà en una màquina CNC de 3 eixos.

L'empresa patrocinadora de l'equip encarregada de mecanitzar les bases de subjecció serà BALENTEC. Pel que fa la peça del pedal de fre requereix d'una fabricació més precisa i complexa per aquest motiu s'encarregarà de la fabricació el patrocinador de l'equip Haas Automation.

Mecanitzat dels motlles a laminar

Tal i com ja s'ha comentat, per a la fabricació de peces en fibra de carboni, és necessària la fabricació de motlles per cadascun d'elles. Els motlles han estat dissenyats i modificats partir del mòdul de fabricació de motlles de Solid Works.

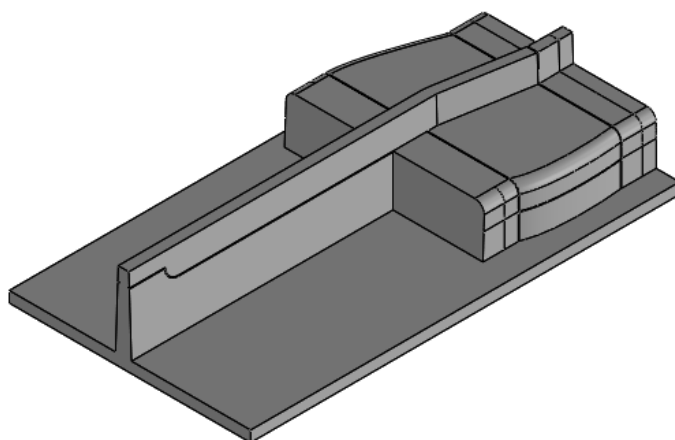
En el cas del *foot suport* i les taloneres al ser dues peces que no han de tindre una gran precisió en quant a toleràncies dimensionals, ni uns excel·lents acabats, seran fabricats a partir de fibra seca, es per tant que el motlle corresponent serà fabricat de fusta de pi.



Il·lustració 6.3 Motlle foot suport (esquerra) i talonera (dreta)

Un aspecte a tindre en consideració, és que els processos de curat de les matrius dels materials compostos en molts casos requereixen la aplicació de temperatura, ja sigui a forns o a autoclaus. Això té implicacions en el material amb què es fabricaran els motlles doncs, han de ser dimensionalment estables, cosa que suposa tindre una densitat alta, un grau d'humitat baix, i ser resistents a la temperatura.

En el cas del pedal accelerador, al ser una peça que serà fabricada amb pregeg, no permet que el seu motlle sigui fabricat a partir de fusta, ja que les altes temperatures dinsmel forn autoclau podrien provocar la seva combustió, es per tant, que s'ha de fer a partir d'un material resistent a la temperatura i que al mateix temps pugui ser mecanitzat. La fosa d'alumini ha estat el material escollit en el cas del motlle pel pedal accelerador.



Il·lustració 6.4 Motlle pedal accelerador

Gràcies a la col·laboració conjunta entre l'equip e-Tech Racing i l'empresa TINKERERES els motlles seran mecanitzats mitjançant màquines CNC .

7. Anàlisi de l'impacte ambiental

Una vegada presentat el disseny, i a pesar que no ha estat fabricat en la seva totalitat, es tractarà l'impacte que produirà aquest sobre el medi ambient durant la seva vida útil, així com l'impacte que tindrà la seva producció i el tractament dels materials emprats durant la seva etapa de fabricació.

Inicialment la concepció del disseny ha suposat un consum tenint en compte que està fet mitjançant l'ús d'un ordinador durant un temps aproximat a les 500 hores. Considerant que un ordinador té un consum mitjà de 200 W, s'ha obtingut un consum total de 100 kWh equivalent a 360MJ.

En el cas estudiat, al ser la caixa de pedals d'un monoplaça elèctric, es podria considerar que el sistema en si no presenta cap mena de consum energètic ni produeix emissions de cap tipus, ja que no existeix cap operació de manteniment del sistema que impliqui un impacte pel medi ambient. Per la qual cosa, es pot dir que durant el període de la seva vida útil, el sistema no presenta cap impacte al medi. No obstant, les etapes que realment tenen un impacte ambiental significatiu són les etapes de producció dels components que el conformen, així com el reciclatge dels mateixos al final de la seva vida útil.

A quant a la fase de producció dels materials, cal destacar que el sistema està fabricat principalment per tres tipus diferents: acer, alumini i fibra de carboni. A continuació es quantifica l'energia necessària per a la producció d'aquests:

Taula 9 Càlcul d'energia necessària per a la producció dels principals materials

Material	Quantitat	Consum específic	Consum Total
Alumini	1,2 Kg	196 MJ/kg	235,2 MJ
Acer	0,8 Kg	90 MJ/Kg	88 MJ
Fibra de carboni	0,1 Kg	183 MJ/kg	18,3 MJ
		TOTAL	341,5 MJ

Durant el procés de fabricació del sistema, només es tindrà en consideració les despeses d'energia elèctrica consumides per les màquines fresadores que mecanitzaran les peces i els motlles, així com l'ús del forn per el curat de les peces fetes de fibra.

Per a una màquina CNC equivaldria a un consum mitjà de 12kWh, utilitzada durant 2 hores, equivaldria a 86,4 MJ. Per altra banda, els forns utilitzats per al curat de peces de fibra, acostumen a tindre gran dimensions, es per tant que el seu consum serà major. En aquest cas s'utilitzarà un dels forns de

l'empresa Nexus Projectes durant un temps aproximat de 4 hores (80kWh), donant com a resultat 288 MJ. Això sumat als consums anteriorment explicats donen una energia consumida de 1075,9 MJ.

Per concloure amb l'impacte ambiental, comentar que una vegada acabat el període de vida útil dels monoplaques de Formula Student, aquets solen convertir-se en elements d'exposició, allargant el seu ús encara que no sigui d'una manera activa. Tot i això, és lògic pensar que en algun moment serà necessari desfer-se de les peces que ja no resulten útils. En aquest cas l'ús majoritari de components fets a partir d'acer i alumini permetria en gran part el reciclatge d'aquestes. Per altra banda, les peces fetes a partir de fibra de carboni, presenten grans dificultats per ser reciclades i ja que el reciclatge eficaç d'aquests tipus de material encara es troba en fases d'estudi i desenvolupament per empreses del sector.

Conclusions

Aquesta memòria començava establint l'objectiu de l'estudi i disseny del muntatge òptim de la caixa de pedals per un monoplaça elèctric de tipus formula, sota el context de l'equip e-Tech Racing i seguint els requeriments que la organització Formula SAE imposa. Per a continuació fabricar el conjunt de forma satisfactòria i implementar-lo al monoplaça ETR04 (Actualment en estat de fabricació).

A partir d'aquí cal assenyalar que en aquest treball s'ha aconseguit desenvolupar gran part de les etapes de disseny per a un pedal box system d'un monoplaça de Formula Student, a excepció de la fase de fabricació; ja que a causa de la data límit per a la presentació d'aquesta memòria, no ha pogut ser documentada.

Pel que fa a les qüestions ergonòmiques estudiades, el mòdul d'ergonomia de CatiaV5 ha estat una eina molt eficaç i ràpida de comprovar els requisits mínims de comoditat i localitzar de forma aproximada la posició que deu ocupar el pedal box dins l'estructura monocasc. No obstant això, tot estudi ergonòmic en el món de l'automòbil s'utilitza per a augmentar el confort, facilitar la conducció i reduir el cansament i les possibles distraccions que puguin patir el pilot. En tot moment les sensacions i la comoditat del pilot han de ser els factors que determinin totes les altres decisions que es prenguin en el àmbit que envolta l'ergonomia d'aquest i la disposició dels diferents sistemes que es troben involucrats.

A partir d'aquí es pot concloure que per molt bones deduccions que s'extraguin a través de qualsevol software informàtic, mai seran tant rellevants com si es fes de forma empírica amb pilots reals i reben un feedback *in situ*, cosa que en gran part ha mancat en les decisions preses a quan a la localització i els angles de treball del sistema dissenyat. Es per tant, que de cara a treball futur, una millora considerable en quant a millorar aquest aspecte seria a partir del disseny i la fabricació d'un esquelet ergonòmic, i així obtenir uns valors significatius que tinguessin en consideració les sensacions de la persona.

Un cop definides les consideracions ergonòmiques del sistema s'ha anat arribant a diferents conclusions i decisions que han anat conformant a poc a poc el disseny final del conjunt.

En quant a disposar el sistema al sòl o cara inferior del monocasc, ha suposat un centre de gravetat el més baix possible del sistema, contribuint al mateix temps en conservar el centre de gravetat del monoplaça i complint amb un dels principals objectius de disseny que es plantejaven inicialment.

Per altra banda, malgrat ser una opció més complicada, l'elecció d'escollir una disposició de bombes en angle respecte el pedal de fre, així com posicionant els pedals a una distancia el més pròxims possibles (130mm), es consideren que han estat dues decisions encertades al oferir un volum més baix,

assolint així l'objectiu de facilitar la instal·lació del conjunt dins l'estructura monocasc i facilitar les tasques de manteniment i la regulació del mateix.

La implementació d'un sistema que pot ser fàcilment ajustable, el qual pot ser acollat o afuixat de forma ràpida i segura. Permetrà una ràpida ajustabilitat i en conseqüència cobrir un dels objectius de disseny de reduir en menys de 30 segons el temps en el canvi de pilot durant la prova d'*Endurance*. Malgrat sabent que la implementació d'un sistema de guies podia augmentar en part el pes del conjunt; aquesta solució permetria una major comoditat als pilots i en conseqüència una experiència de conducció més eficient. Al mateix temps suposa un punt fort pel que fa al disseny del conjunt i en conseqüència treure una major puntuació.

Després de les simulacions que s'han realitzat amb fibra, es pot concloure que és un material que a l'hora de ser simulat pot comporta una gran complexitat i presentar problemes de resultats. No obstant, ha permès determinar quina era la quantitat de laminees aproximades amb la que ha de ser fabricat el pedal accelerador i optimitzar així la peça.

El dissenyar el pedal accelerador de fibra de carboni no només ha suposat una reducció de pes, sinó que al mateix temps ha obert una línia de treball per a temporades futures en la millora del disseny de la peça a partir d'aquest material. Tot i que ha estat una decisió que ha comportat restriccions i una major complexitat en quant a coneixements, simulacions i fabricació (en comparativa si s'hagués fet d'alumini); dona un gran salt de qualitat en quant al conjunt i en quant a la cerca de l'excel·lència i la competició d'elit.

Un cop vist que s'han complerts en gran part objectius plantejats, comentar que la realització de *testings* un cop el sistema estigui fabricat, permetrà determinar el posicionament final de l'interruptor BOTS, així com proporcionat una experiència molt valuosa per tal d'obtenir resultats de proves en viu, amb l'objectiu d'ajustar i/o verificar el correcte funcionament del sistema dissenyat.

Com a feina futura a realitzar, s'hauria d'aprofundir en la simulació de tots els components implicats en el conjunt i la millora d'aquestes així com en les tasques de validació. La validació permet comprovar que tots aquells càlculs i simulacions que s'han realitzat són correctes. La millor forma de comprovar-ho, hagués passat per laminar els diversos pedals que s'han simulat per a continuació assajar-los mecànicament, tot i així és una opció descartada des de un inici per l'equip al ser inviable per falta de timings i pressupost

Per concloure, comentar que aquest treball podrà servir com a memòria per a futurs membres del departament de d'ergonomia de l'equip e-Tech Racing per tindre en consideració les opcions estudiades i buscar altres alternatives i/o profunditzar en elles per tal de realitzar un estudi més acurat i millorar la performance del conjunt.



Pressupost

A continuació es desglossa el pressupost que ha suposat la realització d'aquest projecte i la materialització del conjunt dissenyat.

Prèviament s'ha de considerar que s'ha tingut accés a molts d'aquests recursos gràcies al patrocini amb empreses del sector. Es divideixen doncs els costos com a costos d'enginyeria, costos de fabricació i costos en components comercials, aquests es reflecteixen a les taules següents:

Taula 10 Costos d'enginyeria

Concepte	Quantitat	Cost Unitari	Cost Total
Hores enginyer junior	720 hores	15 €/hora	10.800 €
Hores enginyer sènior	10 hores	50 €/hora	500 €
Llicència Solid Works 2016	1	5.500 €/licència	5.500 €
Llicència ANSYS Workbench 17.0	1	17.500 €/licència	17.500 €
Llicència CatiaV5	1	15.000 €/licència	15.000 €
Llicència Nx Unigraphics	1	18.000 €/licència	18.000 €
		TOTAL	67.300 €

Del preu total s'ha de descomptar la part proporcional corresponent a les llicències de CatiaV5, ANSYS Workbench 17.0, Nx Unigraphics i de Solid Works ja que aquestes han estat aconseguïdes gràcies al patrocini de les empreses corresponents amb l'equip e-Tech Racing.

Taula 11 Costos de fabricació

Concepte	Quantitat	Cost Unitari	Cost Total
Fibra seca	1,5 m ²	12,95 €/ m ²	19,42 €
Fibra prepeg 400g/m2	2 m ²	24 €/ m ²	72 €
Material empleat en la de fabricació peces de fibra*	-	-	68,97 €
Curat al forn	4 hores	6 €/h	24 €
Alumini 7075-T6	Pedal de fre 200 x 50 x 50 mm (1,4 kg)	46,97 €/Kg	143,25 €
	Base fre 100 x 100 x 50mm (1,4kg)		
	Base accelerador 40 x 75 x 30 mm (0,25 kg)		
Mecanitzats peces	3	_**	850 €
Mecanitzat motlles	3	_**	500 €
Hores operari	300	22 €/h	6.600 €
Hores supervisor	50	50 €/h	2.500 €
		TOTAL	10.777,64 €

*Els materials/productes empleats per a la fabricació de les peces de fibra de carboni, es trobes especificat a l'Annex C.

**Els costos de mecanitzat per unitat no s'ha pogut especificar a causa que depenen de moltes variables diferents com la complexitat de la peça, la màquina utilitzada o el material de la mateixa.

L'última secció comprèn tots aquells components normalitzats i comercials que s'utilitzaran en el sistema. D'igual manera que en l'apartat anterior es pretén que el cost real a l'equip e-Tech Racing resulti nul gràcies als acords amb les empreses subministradores.

Taula 12 Costos dels components comercials

Concepte	Quantitat	Cost Unitari	Cost Total
Cargoleria	-	-	10,24 €
Balance Bar Tilton	1	52,67 €/unitat	105,34 €
Bomba APRacing CP7855	2	258,59 €/unitat	517,18 €
Guia WS-10 IGUS	2	9,74 €/unitat	19,48 €
Fre autoblocant WHKD-1010 IGUS	2	40 €/unitat	80 €
Casquets JFM-0810-07 IGUS	2	1,30 €/unitat	2,60 €
Potenciòmetre lineal ELPM-25 Varioh	3	250 €/unitat	750 €
Interruptor BOTS	1	1,30 €/unitat	1,30 €
Molla de torsional DIN 2089	2	8,23 €/unitat	16,46 €
		TOTAL	1.486,14 €

Esmentar que elements normalitzats com és el cas de la cargoleria no es venen per unitats, sinó en lots mitjans o grans, i per això s'han d'encarregar més unitats de les quals realment es necessiten. Tot i així, és molt probable que altres departaments necessitin els mateixos elements, repartint d'aquesta manera l'excedent entre tots

Taula 13 Cost Total

Concepte	Cost
Cost d'enginyeria	67.300 €
Cost de fabricació	10.777,64 €
Cost de components	1.486,14 €
TOTAL	79.563,78 €

Amb tot això, el cost del present projecte juntament amb la fabricació del conjunt dissenyat és de 79.563,78 € (*setanta-nou mil cinc-cents seixanta-tres amb setanta-vuit cèntims*).

Bibliografia

Ashby, M., 2005. *Materials selection in mechanical design*. ISBN 0750661682.

Box, P., 2014. a2 Installation Drawing a2 Installation Drawing. A: . p. 11-12.

Callister, W. i Rethwisch, D., 2007. *Materials science and engineering: an introduction*. ISBN 9780471736967. DOI 10.1016/0025-5416(87)90343-0.

Campbell, F.C., 2010. Structural Composite. A: *Structural Composite Materials*. p. 31-61. ISSN 1098-6596. DOI 10.1016/B978-0-12-398460-9.00002-0.

Co2list.org. A: [en línia]. Disponible a: <http://www.co2list.org/files/carbon.htm>.

Colombini, Daniela;Occhipinti, Enrico;Casado, E.Á., 2013. *The revised OCRA Checklist method**. ISBN 9788461629657.

Composite materials guide: Introduction - Material Comparison | NetComposites. A

Composites-ate | Tecnologías de fabricación - Composites ate. A: [en línia]. [Consulta: 30 gener 2018 b]. Disponible a: <http://www.composites-ate.com/>.

Corporation, H., 2013. HexPly Prepreg Technology. A: *Hexcel Registered Trademark*. p. 28.

Different types of carbon fiber UD prepreg. A: [en línia]. [Consulta: 11 abril 2018]. Disponible a: <http://www.talkcomposites.com/24286/Different-types-of-carbon-fiber-UD-prepreg>.

FIA Standard 8856-2000 - Protective Clothing for Automobile Drivers - updated: 10.07.2015 | Federation Internationale de l'Automobile. A: [en línia]. [Consulta: 16 gener 2018]. Disponible a: <https://www.fia.com/fia-standard-8856-2000-protective-clothing-automobile-drivers-updated-10072015>.

FSAE mock chassis - SOLIDWORKS - 3D CAD model - GrabCAD. A: [en línia]. [Consulta: 25 gener 2018]. Disponible a: <https://grabcad.com/library/fsae-mock-chassis-1>.

FSAEOnline.com. A: [en línia]. [Consulta: 8 febrer 2018]. Disponible a: <https://www.fsaeonline.com/>.

GDLC - ergonomia. A: [en línia]. [Consulta: 25 gener 2018]. Disponible a: <http://www.diccionari.cat/lexicx.jsp?GECART=0054511>.

Hexcel | Estructuras y materiales compuestos. A: [en línia]. [Consulta: 18 abril 2018]. Disponible a: <http://www.hexcel.com/>.

JONES, R.M., 1999. *Mechanics of composite materials*. ISBN 1-56032-712-X. DOI 10.1007/BF00611782.

Linear, M. i Sensor, P. Motorsports Linear - ELPM series Position Sensor • Motorsport proven in a very compact. A: .

Prepreg - Gazechim Composites Ibérica. A: [en línia]. [Consulta: 26 març 2018]. Disponible a: <http://www.gazechim.es/procesos-de-aplicacion/prepreg.html>.

Regulations, A.A., 2018. Formula Student Rules 2018. A: . p. 1-130.

Richard G. Budynas .*Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, 9na Edición.

Ruiz, M.C., 2002. *Mecánica de estructuras Libro 1 Resistencia de materiales*. ISBN 8483016222. DOI 10.13140/RG.2.1.4664.1763.

Search for «human dimensions» - SAE International. A: [en línia]. [Consulta: 8 febrer 2018]. Disponible a: <https://www.sae.org/search/?qt=human+dimensions>.

Sistemes, V.NEXUS projectes. A: [en línia]. [Consulta: 11 abril 2018]. Disponible a: <http://www.nexusprojectes.com/metodos.aspx?lang=es>.

Student, F.E. y propuesta ergonómica de un F.S.Resumen. A: . p. 1-67.

Vavalle, N.A. et al., 2015. Application of Radial Basis Function Methods in the Development of a 95th Percentile Male Seated FEA Model.

Xiong, X. et al., 2011. The study of automobile chassis design and development based on Digital Mock-Up. A: *2011 International Conference on Electric Information and Control Engineering, ICEICE 2011 - Proceedings*. p. 2814-2817. ISBN 9781424480395. DOI 10.1109/ICEICE.2011.5776956.

TREBALL FI DE GRAU

Grau en Enginyeria Mecànica

**ESTUDI I DISSENY DEL SISTEMA DE PEDALARIA PER UN
MONOPLAÇA DE FORMULA STUDENT**



Volum II

Annexos

Autor: David Garcia Bascoy
Director: Rubén Arroyo González
Convocatòria: Maig 2018

Índex d'Annexos

ANNEX A: NORMATIVA APLICABLE	5
ANNEX B: SIMULACIÓ EN MÈTODE D'ELEMENTS FINITS	10
ANNEX C: CARACTERÍSTIQUES DE COMPONENTS SUBMINISTRATS	21
C1. Sensor lineal ELPM25 Variohm	21
C2. Bomba de fre APracing model CP7855	22
C3. Balance bar 600 TILTON 72-250	24
C4. Polsador analògic RS PRO	25
C5. Fre autoblocant d'altres forces WHKD-1010 IGUS.....	27
C6. Guies lineals WS-10 IGUS.....	28
C8. Casquets JFM-0810-07 IGUS	29
C9. Molla torsional DIN 2089 TOLE7163-R.....	30
C10. Molla torsional DIN 2089 TOLE7378-L	31
C11. Datasheet fibra RC416T Gurit.....	32
C12. Elements d'unió normalitzats.....	33
C13. Alumini 7075 T6.....	34
C14. Materials i productes per a la fabricació de peces de fibra de carboni.....	35
ANNEX D: TAULA DE PESOS DEL SISTEMA	36



Annex A: Normativa aplicable

T3.2 Cockpit Internal Cross Section

- T3.2.1 The cockpit must provide a free internal cross section sufficient for the template shown on the right in Figure 9 to pass from the rear most surface of the front hoop to a point 100 mm rearwards of the face of the rearmost pedal in an inoperative position. The template may be moved up and down. Adjustable pedals must be in their most forward position.
- T3.2.2 The steering wheel and any padding that can be removed without the use of tools while the driver is seated may be removed for the template to fit.
- T3.2.3 The driver's feet and legs must be completely contained within the primary structure when the driver is seated normally and the driver's feet are touching the pedals. In side and front views, any part of the driver's feet or legs must not extend above or outside of this structure.
- T3.2.4 [DV ONLY] To allow for the steering actuator a reduced-height template (reduced by 50 mm, shown in Figure 9) may be used for a section measuring 200 mm horizontally along the template's path (compare T3.2.1).
- T3.2.5 [DV ONLY] The additional space allowed by T3.3.4 (d) and T3.2.4 may only be used for steering, braking and clutch actuators. When the actuators are removed, the standard templates must fit into the cockpit.

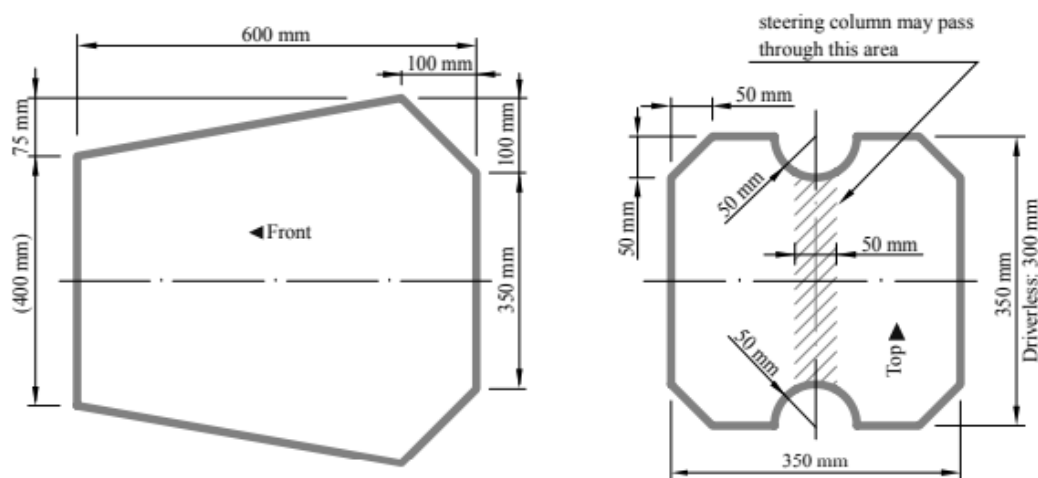


Figure 9: Cockpit opening template (left) and cockpit internal cross section template (right)

T3.3 Percy (95th percentile male)

T3.3.1 When seated normally and restrained by the driver's restraint system, the helmet of a 95th percentile male and all of the team's drivers must (see Figure 10):

- (a) Be a minimum of 50 mm away from the straight line drawn from the top of the main hoop to the top of the front hoop.
- (b) Be a minimum of 50 mm away from the straight line drawn from the top of the main hoop to the lower end of the main hoop bracing if the bracing extends rearwards.
- (c) Be no further rearwards than the rear surface of the main hoop if the main hoop bracing extends forwards.

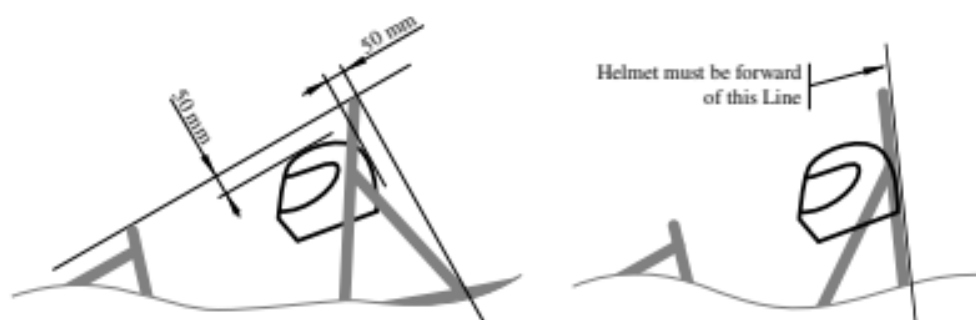


Figure 10: Minimum helmet clearance

T3.3.2 The 95th percentile male is represented by a two dimensional figure consisting of two circles of 200 mm diameter (one representing the hips and buttocks and one representing the shoulder region) and one circle of 300 mm (representing the head with helmet).

T3.3.3 The two 200 mm circles are connected by a straight line measuring 490 mm. The 300 mm circle is connected by a straight line measuring 280 mm with the upper 200 mm circle.

T3.3.4 The figure has to be positioned in the vehicle as follows (see Figure 11):

- (a) The seat adjusted to the rearmost position

- (b) The pedals adjusted to the frontmost position
- (c) The bottom 200 mm circle placed on the seat bottom. The distance between the center of the circle and the rearmost actuation face of the pedals must be minimum 915 mm.
- (d) [DV ONLY] The distance from center of circle and pedals, as mentioned above, may be reduced to 865 mm but only for placement of automated brake, steering or clutch actuators in front of the pedals.
- (e) The middle circle positioned on the seat back
- (f) The upper 300 mm circle positioned 25 mm away from the head restraint.

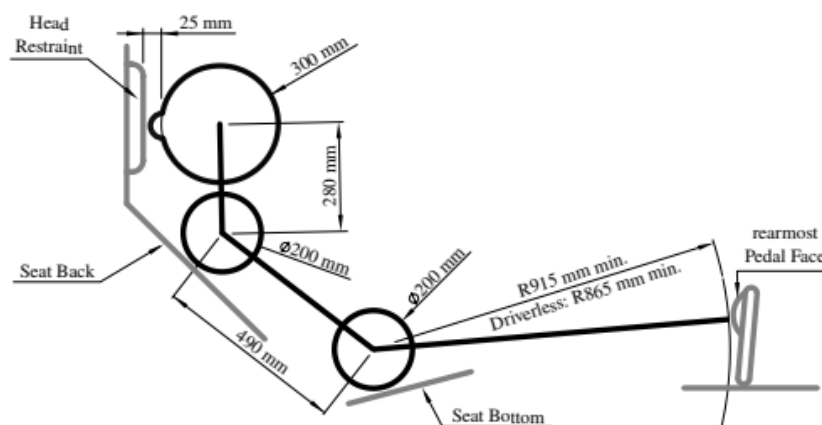


Figure 11: Percy placement

T5 BRAKE SYSTEM

T5.1 Brake System - General

- T5.1.1 The vehicle must be equipped with a braking system that acts on all four wheels and is operated by a single control.
- T5.1.2 The brake system must have two independent hydraulic circuits such that in the case of a leak or failure at any point in the system, effective braking power is maintained on at least two wheels. Each hydraulic circuit must have its own fluid reserve, either by the use of separate reservoirs or by the use of a dammed reservoir.
- T5.1.3 A single brake acting on a limited-slip differential is acceptable.
- T5.1.4 “Brake-by-wire” systems are prohibited. [DV ONLY] In autonomous mode, it is allowed to use “brake-by-wire”. In manual mode, T5.1.1 applies.
- T5.1.5 Unarmored plastic brake lines are prohibited.
- T5.1.6 The braking systems must be protected from failure of the drivetrain (see T6.4.2) and from minor collisions.

- T5.1.7 In side view any portion of the brake system that is mounted on the sprung part of the vehicle must not project below the lower surface of the chassis.
- T5.1.8 The brake pedal shall be designed to withstand a force of 2 kN without any failure of the brake system or pedal box. This may be tested by pressing the pedal with the maximum force that can be exerted by any official when seated normally.
- T5.1.9 The brake pedal must be fabricated from steel or aluminum or machined from steel, aluminum or titanium.
- T5.1.10 [EV ONLY] The first 90 % of the brake pedal travel may be used to regenerate brake energy without actuating the hydraulic brake system. The remaining brake pedal travel must directly actuate the hydraulic brake system, but brake energy regeneration may remain active.

T5.2 Brake Over-Travel Switch (BOTS)

- T5.2.1 A brake pedal over-travel switch must be installed on the vehicle as part of the shutdown circuit, as in EV 7 or CV 4.1. This switch must be installed so that in the event of a failure in one or both of the brake circuits the brake pedal over travel will result in the shutdown circuit being opened. This must function for all brake pedal and brake balance settings used to drive the vehicle.
- T5.2.2 Repeated actuation of the switch must not close the shutdown circuit, and it must be designed so that the driver cannot reset it.
- T5.2.3 The switch must be implemented with analog components, not incorporating programmable logic controllers, engine control units, or similar functioning digital controllers.
- T5.2.4 The brake over travel switch must be a mechanical single pole, single throw (commonly known as a two-position) switch (push-pull or flip type).

T5.3 Brake Light

- T5.3.1 The vehicle must be equipped with one brake light that meets the following requirements:
- A red light with a black background.
 - Rectangular, triangular or near round shape.
 - Minimum shining surface of 15 cm².
 - Clearly visible from the rear in very bright sunlight.
 - When LED lights are used without a diffuser, they may not be more than 20 mm apart.
 - If a single line of LEDs is used, the minimum length is 150 mm.
- T5.3.2 In side view the brake light must be orientated vertical or near vertical and mounted between the wheel centerline and driver's shoulder level. Viewed from the back it should be positioned approximately at the vehicle's centerline.

T 10.3 Accelerator Pedal Position Sensor (APPS)

- T 10.3.1 T 10.3 only apply for electric vehicles, see chapter EV, or internal combustion vehicles using Electronic Throttle Control (ETC), see CV 1.6.
- T 10.3.2 The APPS must be actuated by a foot pedal.
- T 10.3.3 Pedal travel is defined as percentage of travel from fully released position to a fully applied position where 0 % is fully released and 100 % is fully applied.
- T 10.3.4 The foot pedal must return to the 0 % position when not actuated. The foot pedal must have a positive stop preventing the mounted sensors from being damaged or overstressed. Two springs must be used to return the foot pedal to the 0 % position and each spring must work when the other is disconnected. Springs in the APPS are not accepted as return springs.
- T 10.3.5 **At least two separate sensors must be used as APPSs. Separate is defined as not sharing supply or signal lines.**
- T 10.3.6 **If analog sensors are used, they must have different transfer functions, each having a positive slope sense with either different gradients and/or offsets to the other(s). This will insure that even in case of a short circuit of the signal lines the APPSs will only agree at 0 % pedal position.**
- T 10.3.7 The APPS signal is a System Critical Signal, see T 10.4.
- T 10.3.8 If an implausibility occurs between the values of the APPSs and persists for more than 100 ms
- [EV ONLY] The power to the motor(s) must be immediately shut down completely. It is not necessary to completely deactivate the tractive system, the motor controller(s) shutting down the power to the motor(s) is sufficient.
 - [CV ONLY] The power to the electronic throttle must be immediately shut down.
- T 10.3.9 Implausibility is defined as a deviation of more than ten percentage points pedal travel between any of the used APPSs or any failure according to T 10.4.
- T 10.3.10 If three sensors are used, then in the case of an APPS implausibility, any two sensors that are plausible may be used to define the torque target and the 3rd APPS may be ignored.
- T 10.3.11 **Each APPS must have a separate detachable connector that enables a check of these functions by unplugging it. If not, an inline switchable break-out box must be made available during technical inspection that allows disconnection of each APPS signal.**
- T 10.3.12 A fully released accelerator pedal must result in:
- [EV ONLY] A wheel torque of ≤ 0 Nm
- D 7.4.6 [EV ONLY] The TSMS must be switched off by the ESO and the TSAL must have changed to green color, before anyone is allowed to touch the vehicle or to climb out the vehicle.
- D 7.4.7 The first driver will climb out the vehicle and any necessary adjustments will be made to the vehicle to fit the second driver (seat cushions, head restraint, pedal position, etc.). The second driver will then be secured in the vehicle.
- D 7.4.8 When the second driver is fully secured in the vehicle, the vehicle has restarted and is ready-to-drive again, the driver change time is stopped.
- D 7.4.9 If the driver change takes longer than three minutes, the extra time is included in the final time.

Annex B: Simulació en mètode d'elements finits

La configuració comença a partir de crear un mòdul ACP (pre).

	D
1	ACP (Pre)
2	Engineering Data ✓
3	Geometry ✓
4	Model ✓
5	Setup ✓

Selecció de la pestanya *Engineering Data*, es configuren els materials que es van fer servir en la simulació:

D2,H2:Engineering Data

Engineering Data Sources

Outline of Schematic D2, H2: Engineering Data

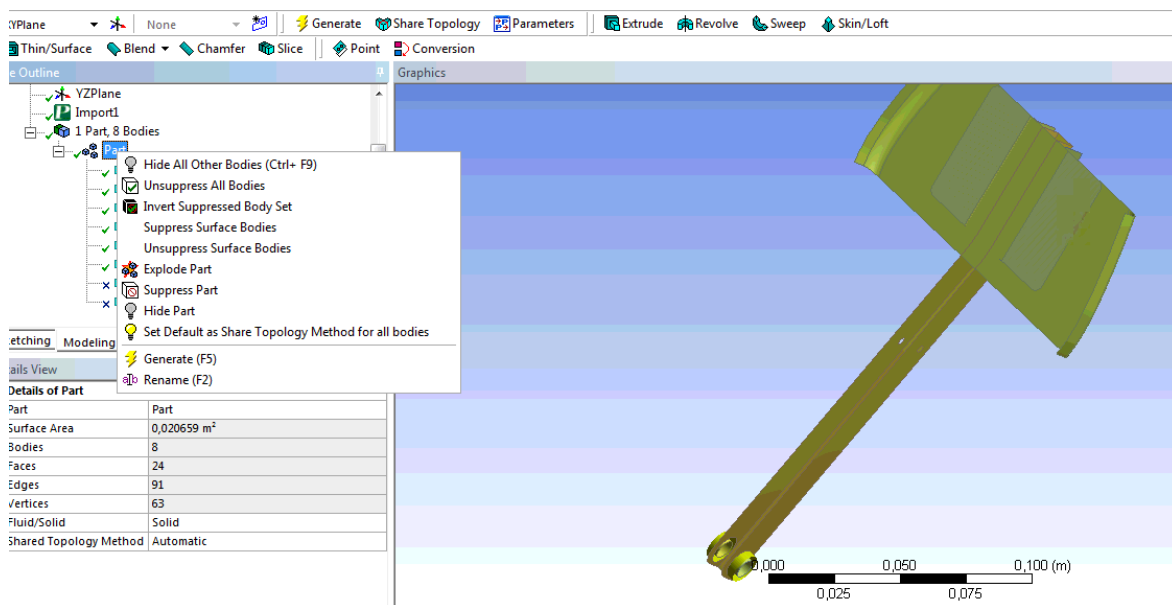
	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data			Source	Description
2	Material				
3	Aluminum Alloy NL				General aluminum alloy. Fatigue properties come from MIL-HDBK-5H, page 3-277.
4	Epoxy Carbon Woven (230 GPa) Prepreg				
5	Resin Epoxy				
6	Structural Steel				Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1

Click here to add a

Properties of Outline Row 4: Epoxy Carbon Woven (230 GPa) Prepreg

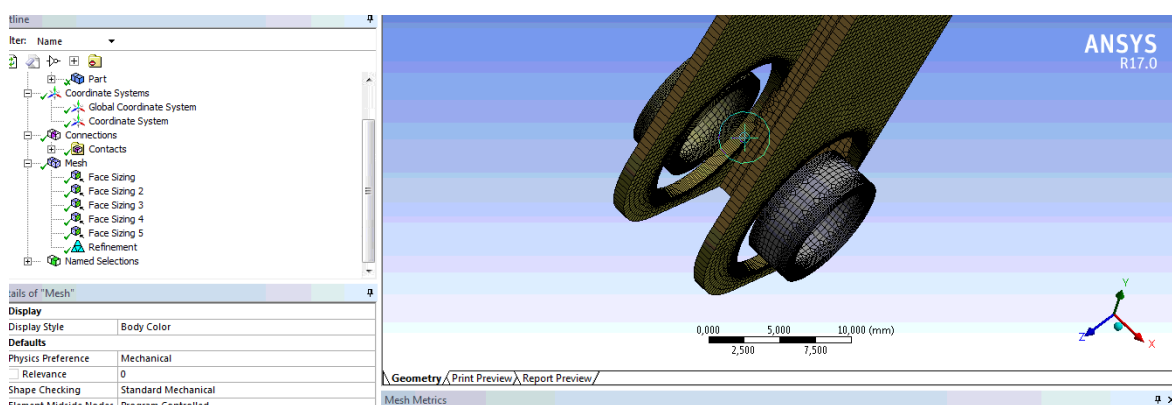
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density	1,42E-09	mm ³ -t		
3	Orthotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
4	Coefficient of Thermal Expansion				
5	Coefficient of Thermal Expansion X direction	2,2E-06	C ⁻¹		
6	Coefficient of Thermal Expansion Y direction	2,2E-06	C ⁻¹		
7	Coefficient of Thermal Expansion Z direction	1E-05	C ⁻¹		
8	Zero-Thermal-Strain Reference Temperature	20	C		
9	Orthotropic Elasticity				
10	Young's Modulus X direction	61340	MPa		

A continuació, a la pestanya al *Geometry cal* importar l'arxiu en format parasolid (txt.), que s'ha fet prèviament. En aquest cas, correspondrà únicament a les superfícies del pedal modelar a partir de SolidWorks.

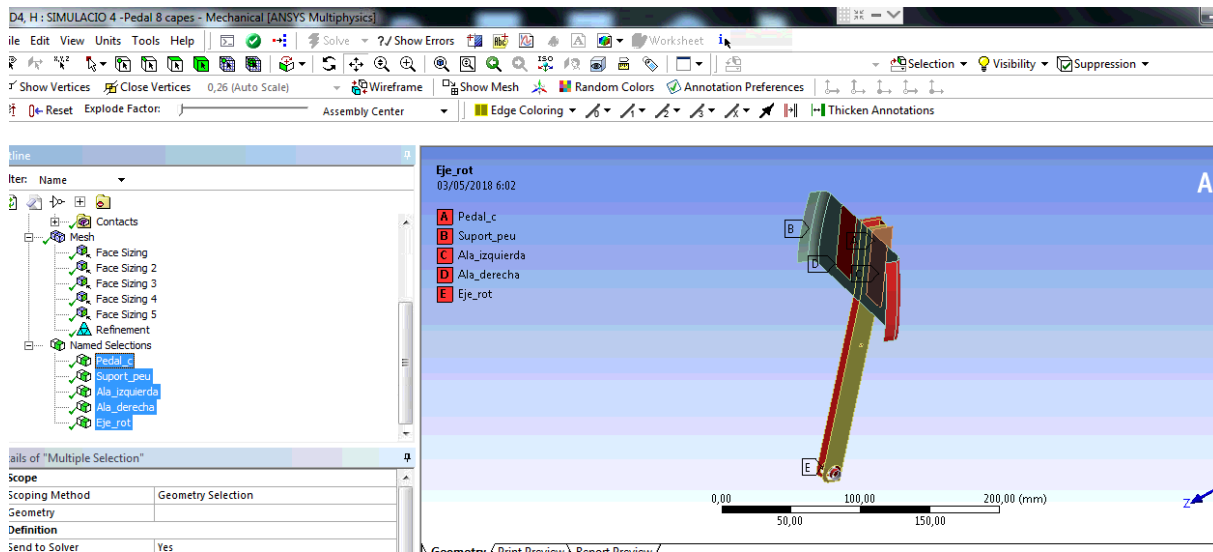


Dins el mòdul, el software identifica que totes les superfícies no formes part del mateix solis; es per tant que cal seleccionar les i ajuntar-les a partir de la comanda *Form New Part*.

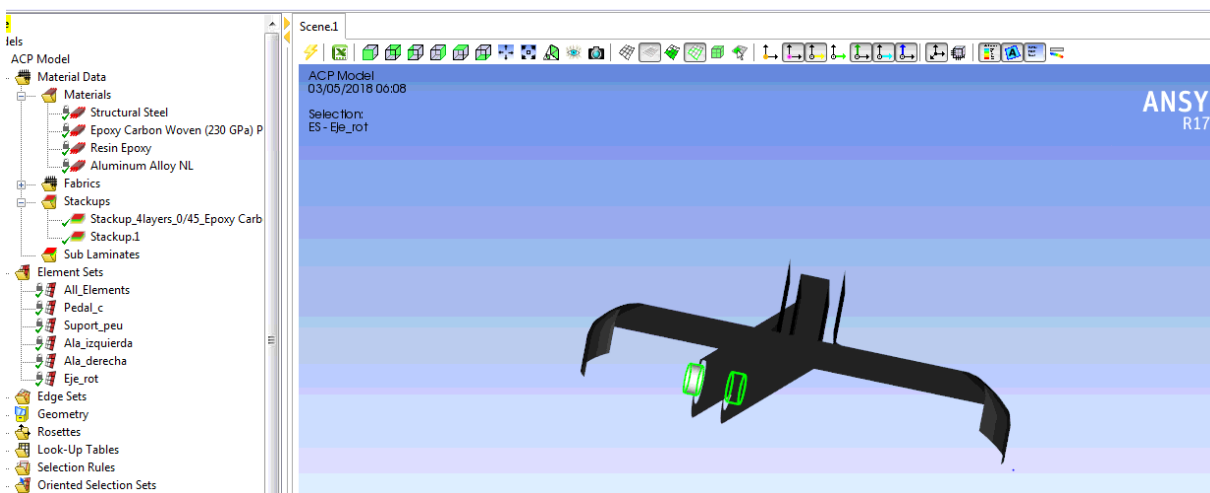
Una vegada fet això es passar al *Mechanical*, on es defineix la grandària de la malla que se li vol donar a la peça a simular. Cal tindre present que en les zones de contacte amb l'eix de rotació i on trobem dos laminats en orientacions diferents cal refinar la malla per tindre una peça més definida.



Sense abandonar el *Mechanical*, s'anomenen a partir de la funció *Named Selection*, les diferents superfícies que es laminaran del pedal. En aquest mòdul també se li assignaran a totes les superfícies el material (en aquest cas Fibra prepreg) definit anteriorment.

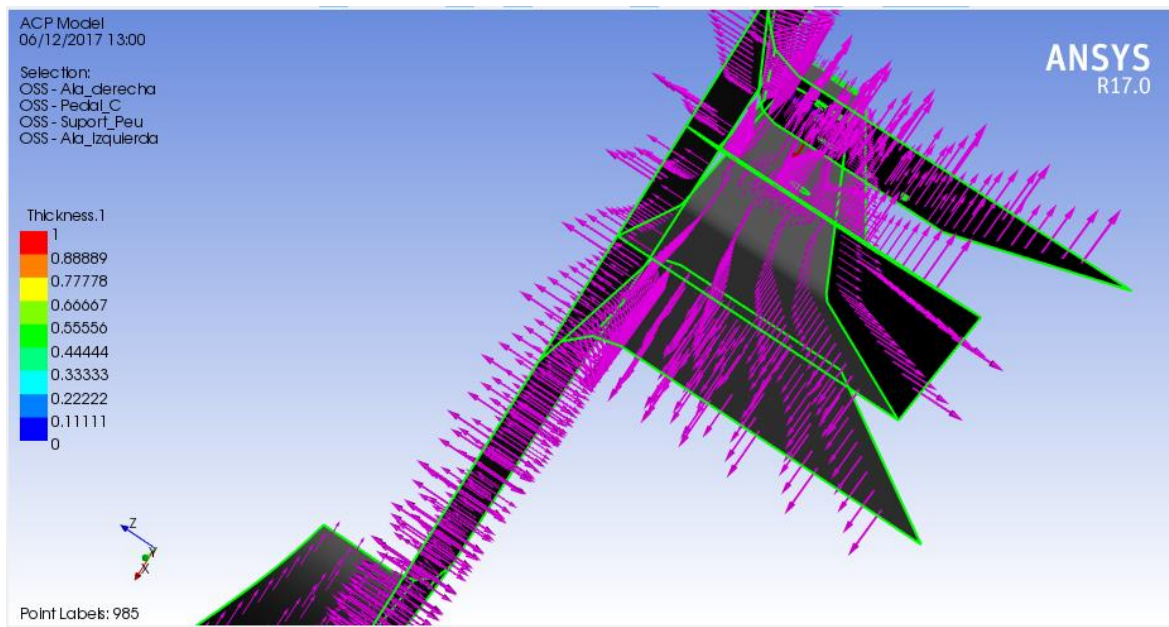


Definides totes les superfícies, es procedirà a continuació amb la pestanya de *Setup* que serà on es laminarà el pedal per poder-lo simular més endavant.

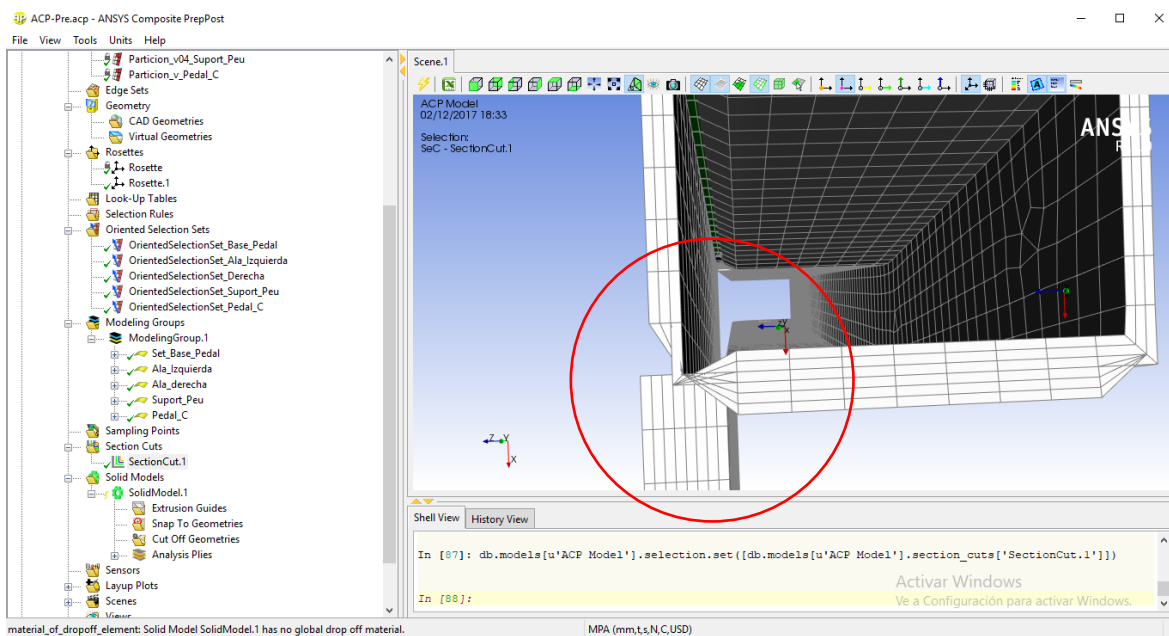


Un cop dins el mòdul de *Setup*, és el mòdul on es determinaran totes les característiques dels laminats que es vulguin fer, determinant l'orientació i l'espessor de cadascuna de les superfícies que el vulguin laminar.

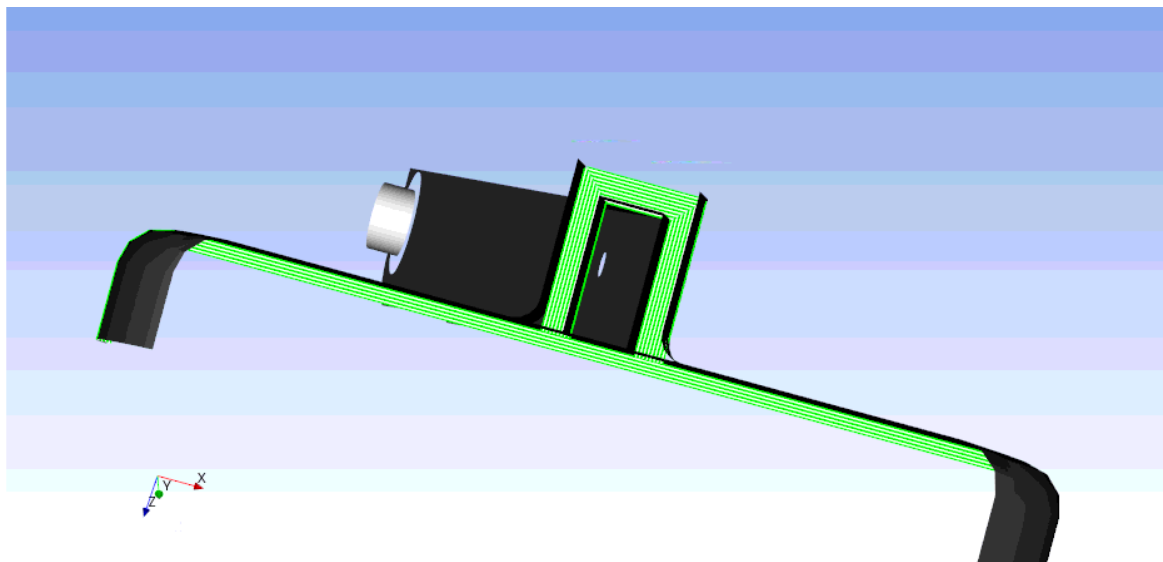
Inicialment, s'haurà de definir la quantitat de lamine que tindrà l'*Stackup* per més endavant assignar-li un numero d'*Skakups* diferents a *cadascuna* de les superfícies que es vulguin laminar segons la quantitat de lamine que es vulgui.



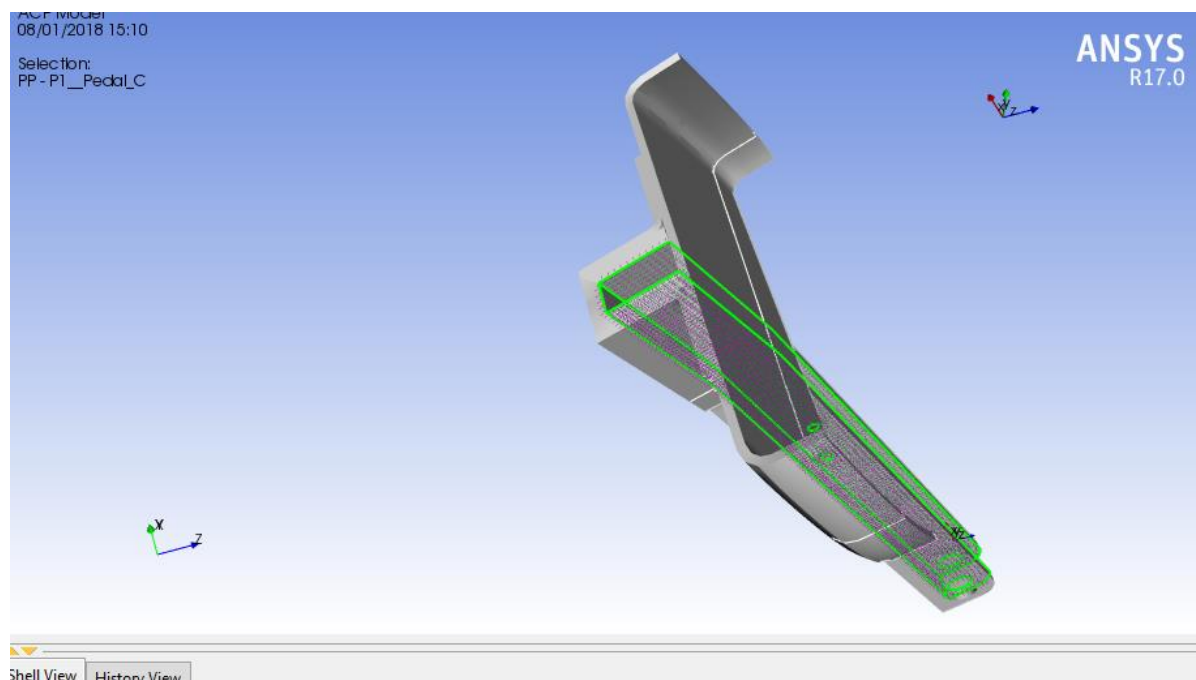
Seguidament, per a cadascuna de les superfícies, se li dona un sentit de laminació a través de la funció *Oriented Selection Set*. Cal apuntar que és important que si la orientació que se li dona a una superfície, intersecciona amb un altra, pot causar problemes i pot fer que software no modeli correctament.



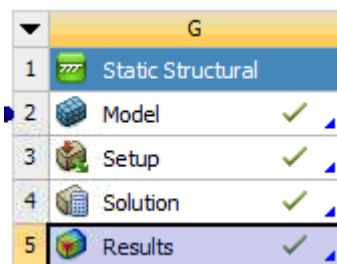
Un cop assignada l'orientació i el número d'*Stacks* (Conjunt de lamine) per a cadascuna de les superfícies. Cal prèviament a través de la funció *Section Cut* verificar com es desenvoluparan els laminats el pedal, segons les variables configurades anteriorment.



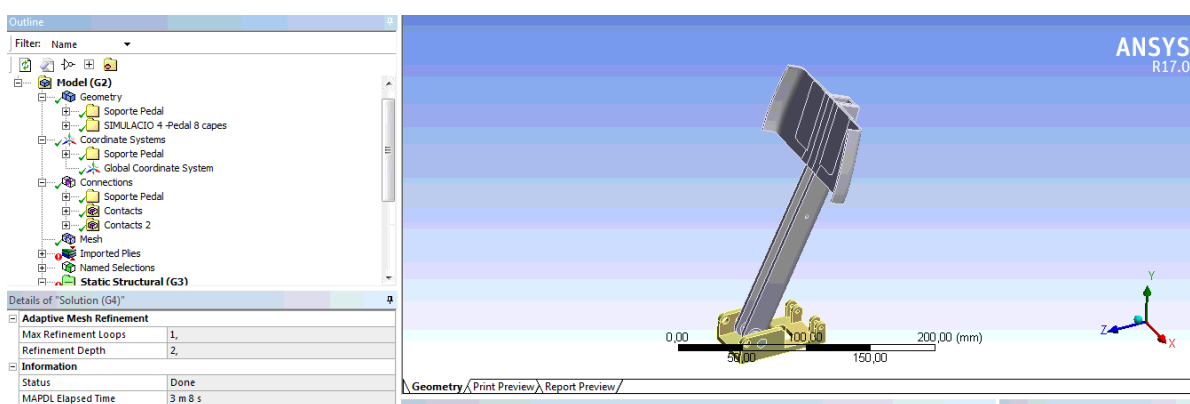
Finalment a partir de la funció *Solid Model* es generarà la laminació virtual del pedal, per més endavant poder-lo simular en el mòdul *Static Structural*.



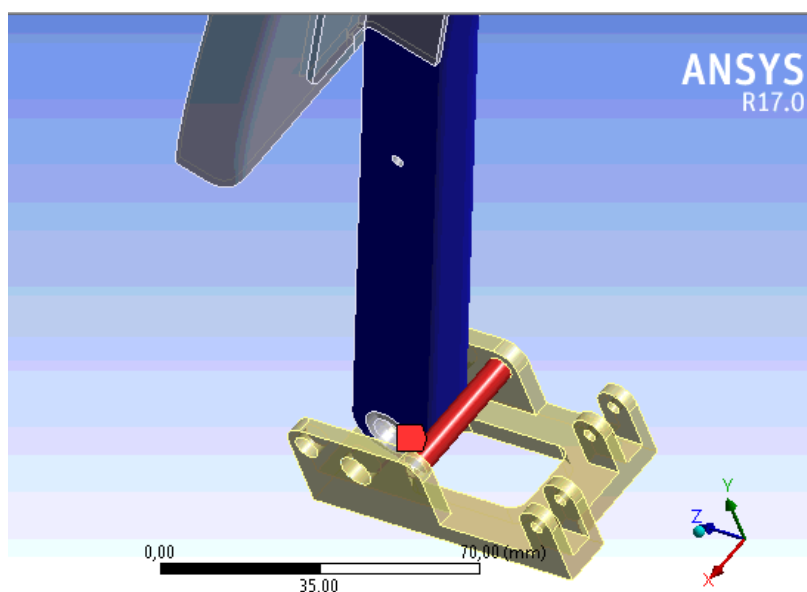
Un cop generada la peça es passarà al *Static Structural*:

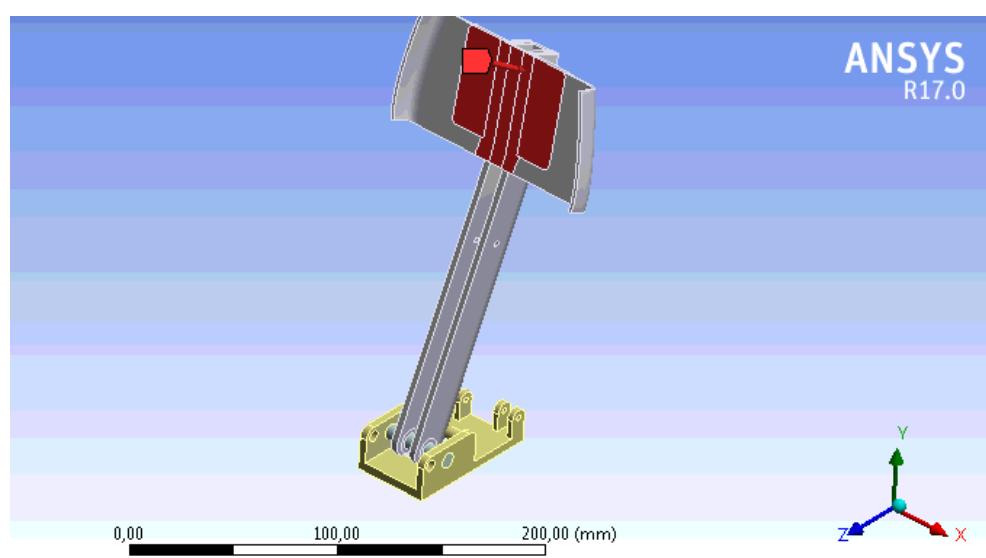
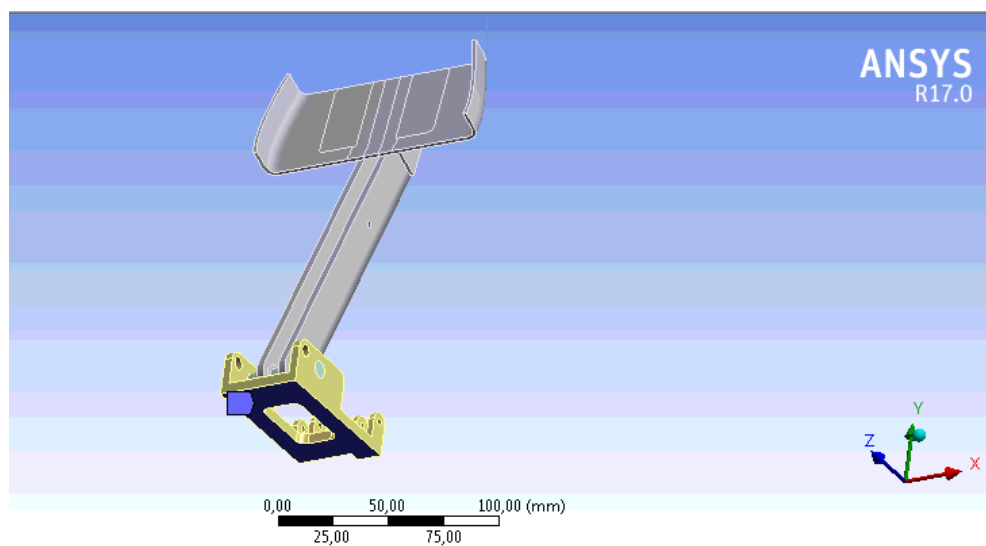
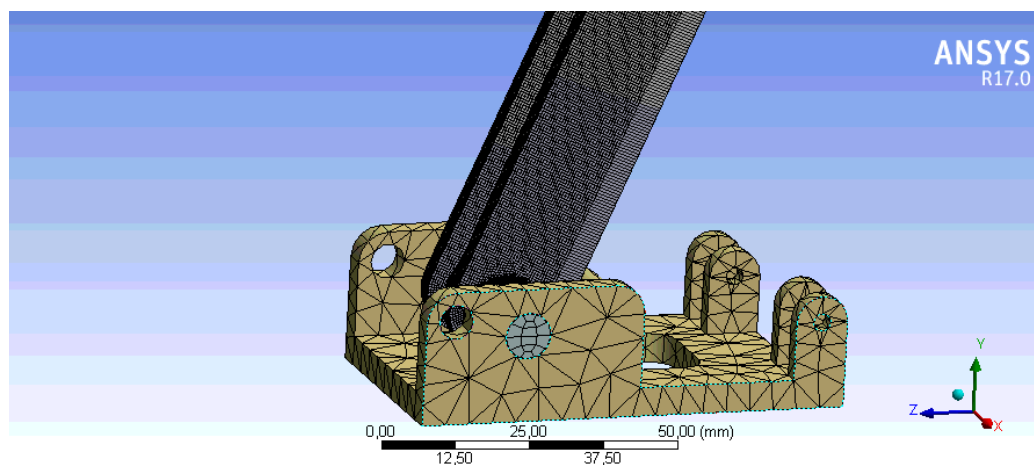


Dins d'aquest mòdul, s'haurà introduït l'arxiu de la base de subjecció de la peça, juntament amb els topalls mecànics.

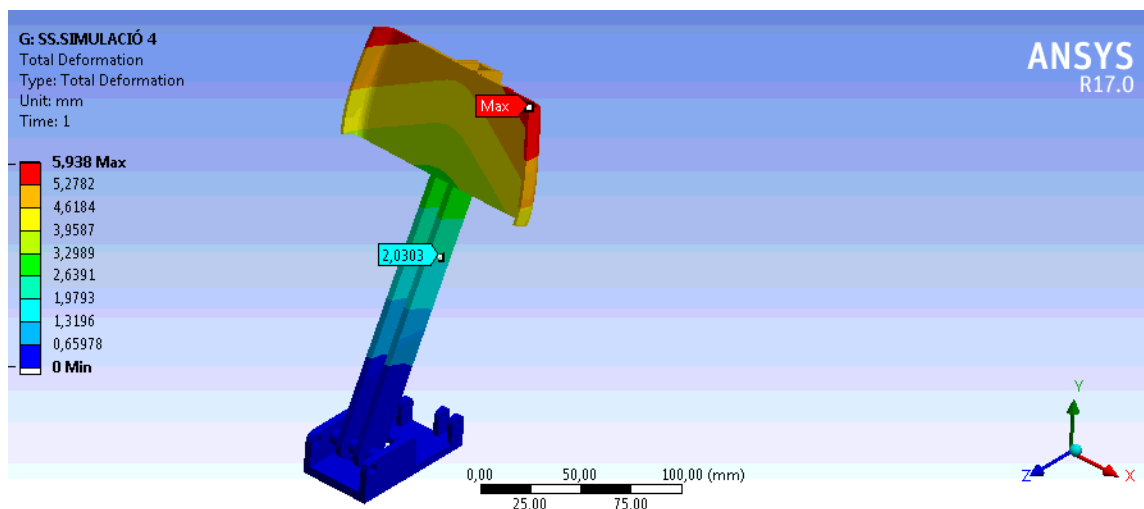


Un cop dins el Mòdul es determinaran les condicions de contorn igual que en la simulació que es realitza de qualsevol peça mecànica, introduint els subjeccions , esforços, i contactes corresponents entre les peces simulades. (Les condicions contorn que s'han especificat en la simulació del pedal accelerador han estat descrites dins la memòria.)

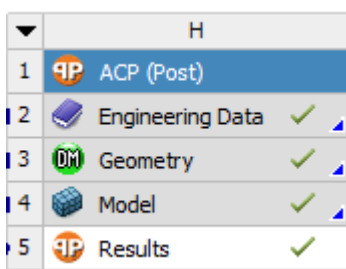




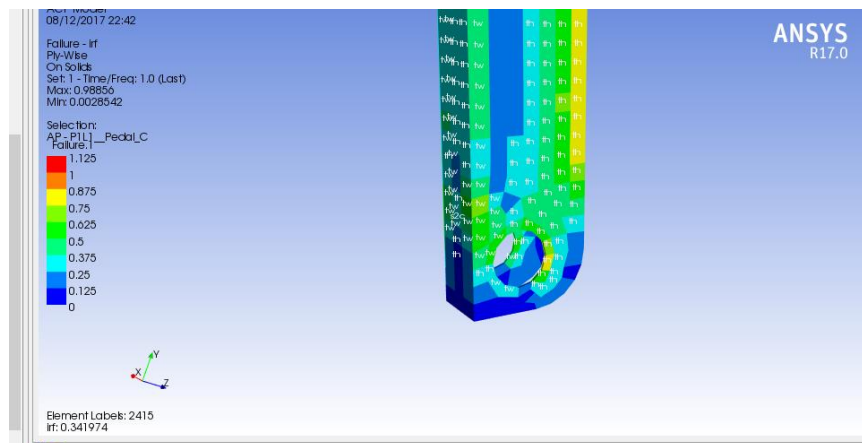
El mòdul *Static Structural* permet fer una visualització dels resultats de deformació total que patirà la peça.

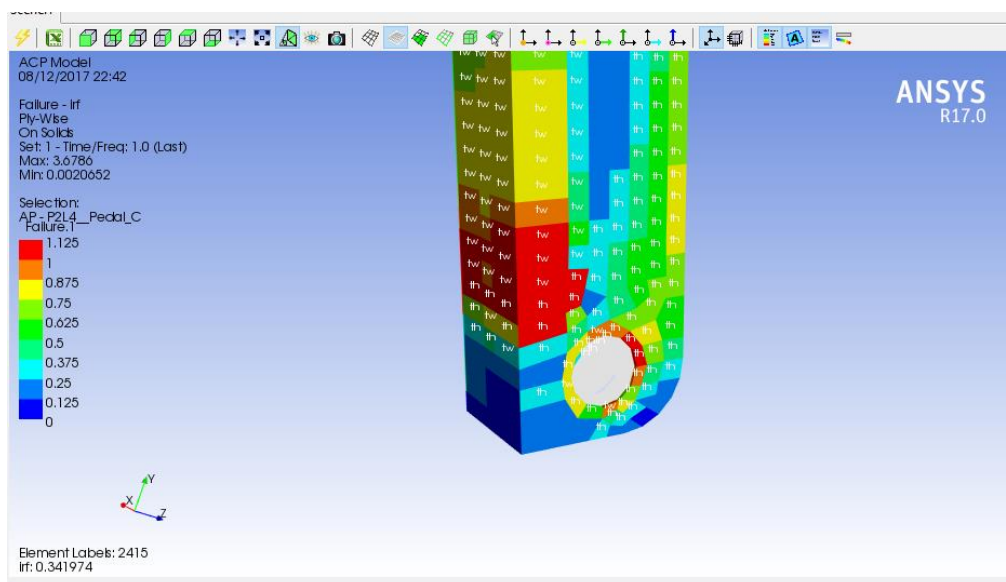
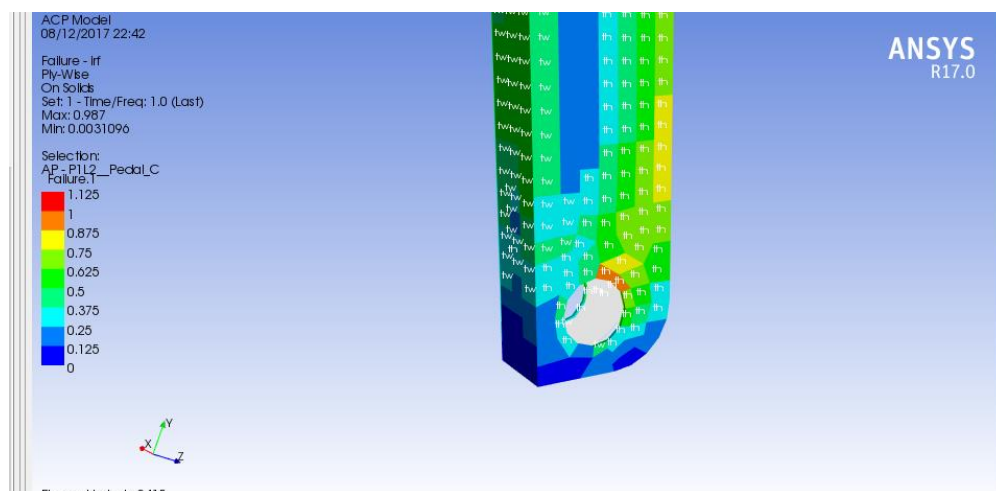


No obstant, al ser una peça fabricada en fibra de carboni, cal veure quina és la fallida que es produirà per a cadascuna de les capes d'aquesta. Es per això que els resultat del *Static Structural*, es connectaran amb el mòdul ACP Post.

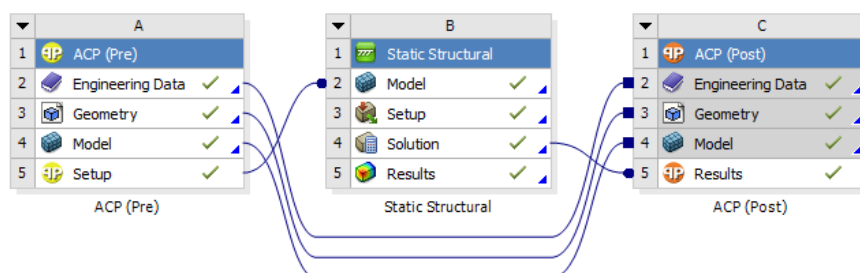


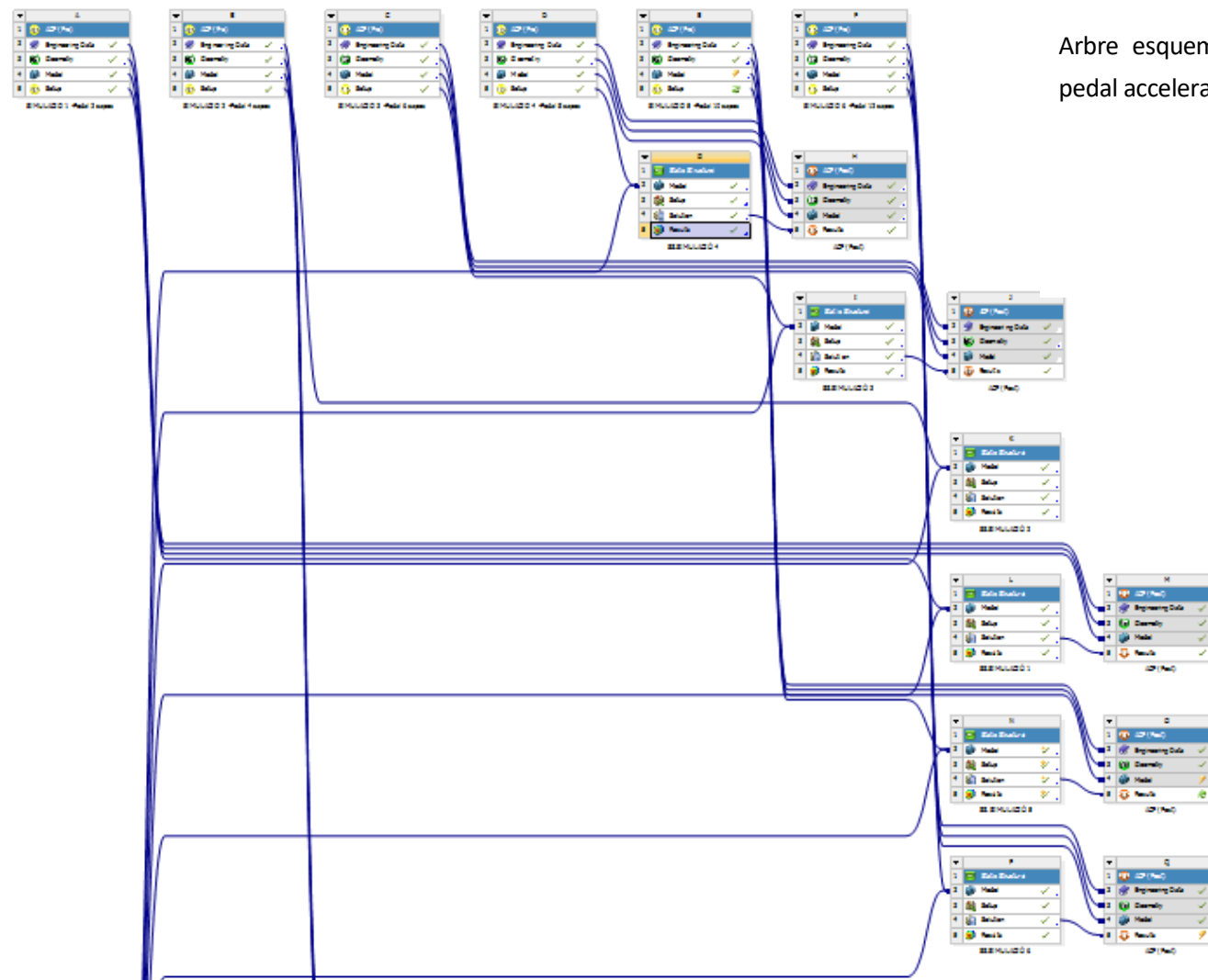
Dins el mòdul ACP Post, ens permetrà visualitzar els resultats i els criteris de fallida per a cadascuna de les capes de la peça. Al mateix temps permet visualitzar quin serà el punt més crític i la capa que trencarà primer.





De forma Resumida a continuació es mostren els mòdul utilitzats per a la simulació de fibra de carboni a través del Software AN





Arbre esquemàtic general de les simulacions del pedal accelerador fet a partir de fibra



Annex C: Característiques de components subministrats

C1. Sensor lineal ELPM25 Variohm

Motorsports Linear Position Sensor - ELPM series



- Motorsport proven in a very compact and extremely ruggedised IP67 sealed aluminium housing
- Elastomer damped wipers for shock and vibration durability
- Self-aligning pivot bearing mountings with optional snap-on version for quick installation/removal
- Extended 'S' sealing option for enhanced reliability and longer life
- Wide choice of options



The motorsports proven ELPM series linear position sensor provides long life and extremely reliable performance for harsh environment position measurement applications such as ride height, suspension and steering angle measurement. The compact 9.5 mm diameter sensor includes a conductive plastic resistance element technology with multi damped wipers that maintains complete and even contact with very low electrical noise, even under the most arduous physical and environmental conditions. The IP67 sealing system employed in the design may be enhanced with the extended 'S' sealing option for enhanced reliability and improved endurance where unpredictable wet and hostile environmental conditions exist. The ELPM series offers stroke lengths from 12.5 to 175 mm in convenient increments with self aligning pivot bearing mountings or optional snap-on mountings with the ELPM-Pop option for fast installation or removal. Further options include a spring return version as well as customer specified mounting and electrical connector options on request.

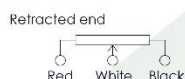
Specifications and ordering information

Electrical stroke	12.5 to 175 mm (8 range options)	Temperature range	ELPM: -30°C to 150°C continuous (175°C short term) ELPM-Pop: -30°C to 140°C
Mechanical stroke	As electrical stroke	Cable type /length	24 AWG Raychem 55M wire, VITON sleeves / 500 mm (alternatives on request)
Independent linearity	Up to 50mm +/- 1%, 75mm -150mm +/- 0.5% (see detailed information below)	Mechanical life	> 25 x 10 ⁶ operations
Max. voltage	24 V DC	Sealing	IP67 (optional 'S' version for extended IP67 performance)
Recommended wiper current	< 10µA	Operational speed	10 m/sec max.
Power rating	0.25W at 40°C		

	Unit	ELPM								ELPM-Pop							
Order code ¹		12.5	25	50	75	100	125	150	175	12.5	25	50	75	100	125	150	175
Electrical stroke ²	mm	12.5	25	50	75	100	125	150	175	12.5	25	50	75	100	125	150	175
Retracted mounting distance ²	mm	82.5	95	120	145	178	203	228	253	102.5	115	149	175	205	230	260	285
Body length	mm	62.5	75	100	125	153	178	203	228	76	88	113	138	173	198	228	253
Resistance +/- 20%	kΩ	1.25	2.5	5.0	7.5	10.0	10.0	10.0	10.0	1.25	2.5	5.0	7.5	10.0	10.0	10.0	10.0
Independent linearity	+/- %	1	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Weight	gm	24	26	29	33	37	43	46	51	20	23	27	31	35	41	44	57

Notes: 1 - For extended seal version specify 'S' (e.g. ELPMS-25)
 2 - Alternative mounting distances available
 3 - Alternative electrical stroke lengths available
 4 - Spring loaded shell and custom options available on request - please enquire at your Variohm Sales Office

Wiring connections



ELPM Motorsports Position Sensor 14/12

Last Saved: dwoodcock on 30 July 2015 10:02:33

A2

If this document is printed in hardcopy, it is for information use only and therefore is not subject to updating controls. Always refer to viewer for latest issue.

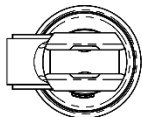
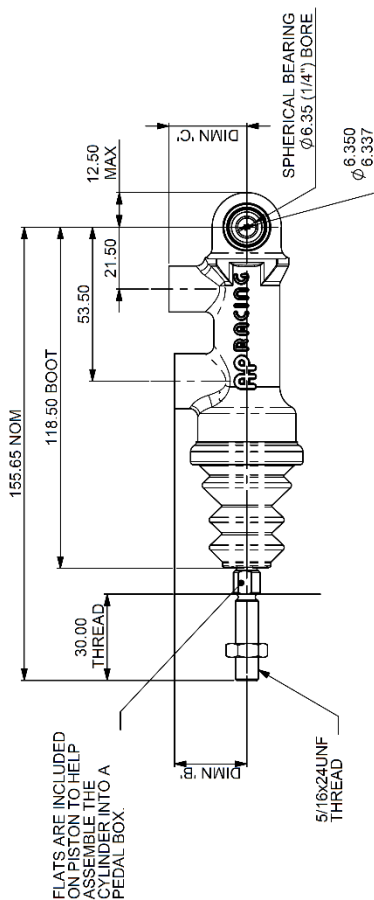


THIS DRAWING IS CONFIDENTIAL AND IS SUPPLIED ON THE EXPRESS CONDITION THAT IT SHALL NOT BE LOANED OR COPIED OR DISCLOSED TO ANY OTHER PERSON OR USED FOR ANY OTHER PURPOSE WITHOUT THE WRITTEN CONSENT OF AP RACING LTD.



AP Racing
Wheler Road
Coventry
CV3 4LB
Tel: +44 024 7663 9595
Fax: +44 024 7663 9559
e-mail: sales@apracracing.com
Web site: <http://www.apracracing.com>

Issue	Alterations		Zone	Infracts
	Date/Time	Particulars		
1	12/11/08	FIRST ISSUE	#	DRA
2	18/02/09	CHARTS FULLY POPULATED WITH PART NUMBERS	#	DRA
3	10/03/2011	C & B DIMENSIONS ADDED.	#	CDA
4	02/04/10	PISTON SEAL D DETAILS CHANGED TO D SECTION SEAL	SH2	BAT
5	30/07/15	TYPICAL WEIGHT RANGE CORRECTED WAS 280 283g	2C	DW



RUBBER BOOT IS INCLUDED
FOR DEBRIS PROTECTION.
SPARES ARE AVAILABLE,
CP5854-104.

GENERAL DESCRIPTION
A HIGH EFFICIENCY SINGLE CIRCUIT STRUT TYPE MASTER CYLINDER, SPHERICAL BEARING MOUNTING, SIZES RANGING FROM 14.0mm to 718 inch WITH 30.0mm STROKE, AND 15/16 inch to 1 inch WITH 28.0mm STROKE. ALSO INCLUDES A RUBBER BOOT TO PROTECT THE CYLINDER FROM DUST AND DEBRIS.

NOTE: TO ACHIEVE THE BEST POSSIBLE PEDAL, IT IS IMPORTANT TO ENSURE ALL TRAPPED AIR IS REMOVED. CYLINDERS ARE SHIMMED DURING ASSEMBLY TO GIVE THE OPTIMUM CUT-OFF TRAVEL. AS A RESULT, PUSH RODS & SHIMS MUST NOT BE EXCHANGED BETWEEN CYLINDER REPLACEMENT. SEAL KITS ARE AS LISTED BELOW.

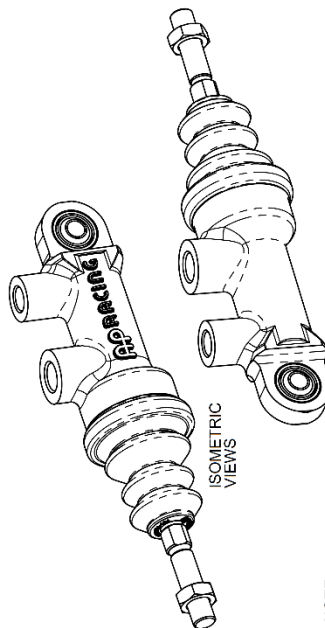
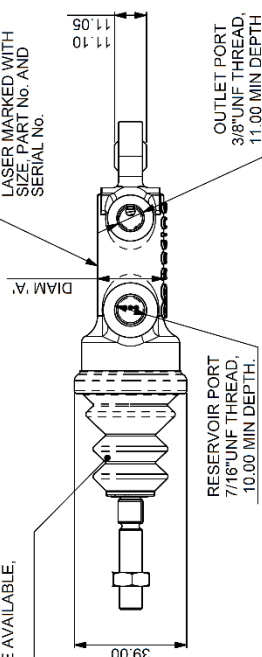
TECHNICAL DATA:

TECHNICAL DATA:
BODY MATERIAL - ALUMINIUM ALLOY
TRAVEL TO CUT-OFF - 0.48 TO 0.63 (0.019" - 0.025")

TRAVEL TO CUT-OFF - 0.48 TO 0.63 (0.019 - 0.025)
HYDRAULIC THREADS - INLET 7/16"UNF
OUTLET 3/8"UNF
TYPICAL WEIGHT RANGE - APPROX 169-198g DEPENDING
ON BORE SIZE.

AVAILABLE SIZES

PART No.	BORE SIZE	STROKE	DIAM 'A'	DIAM 'B'	DIAM 'C'	REPAIR KIT
CP7855-88RPT	14.0mm (0.55")	30.00	22.92	27.00	27.00	CP7855-88RK
CP7855-89RPT	15.0mm (0.59")	30.00	22.92	25.10	27.00	CP7855-89RK
CP7855-90RPT	15.8mm (5/8")	30.00	22.92	25.10	27.00	CP7855-90RK
CP7855-90SRPT	16.8mm (0.66")	30.00	22.92	25.10	27.00	CP7855-90SRK
CP7855-91RPT	17.8mm (0.70")	30.00	22.92	25.10	27.00	CP7855-91RK
CP7855-92RPT	19.1mm (3/4")	30.00	22.92	25.10	27.00	CP7855-92RK
CP7855-93RPT	20.6mm (13/16")	30.00	29.25	28.10	30.00	CP7855-93RK
CP7855-94RPT	22.2mm (7/8")	30.00	29.25	28.10	30.00	CP7855-94RK
CP7855-95RPT	23.8mm (15/16")	28.00	29.25	28.10	30.00	CP7855-95RK
CP7855-96RPT	25.4mm (1")	28.00	29.25	28.10	30.00	CP7855-96RK



NOTE:
AN OPTIONAL TRAVEL SENSOR KIT TO SUIT THIS CYLINDER IS AVAILABLE UNDER THE PART No. CP5854-10. FOR INSTALLATION DATA SEE DRAWING CP5854-10CD.

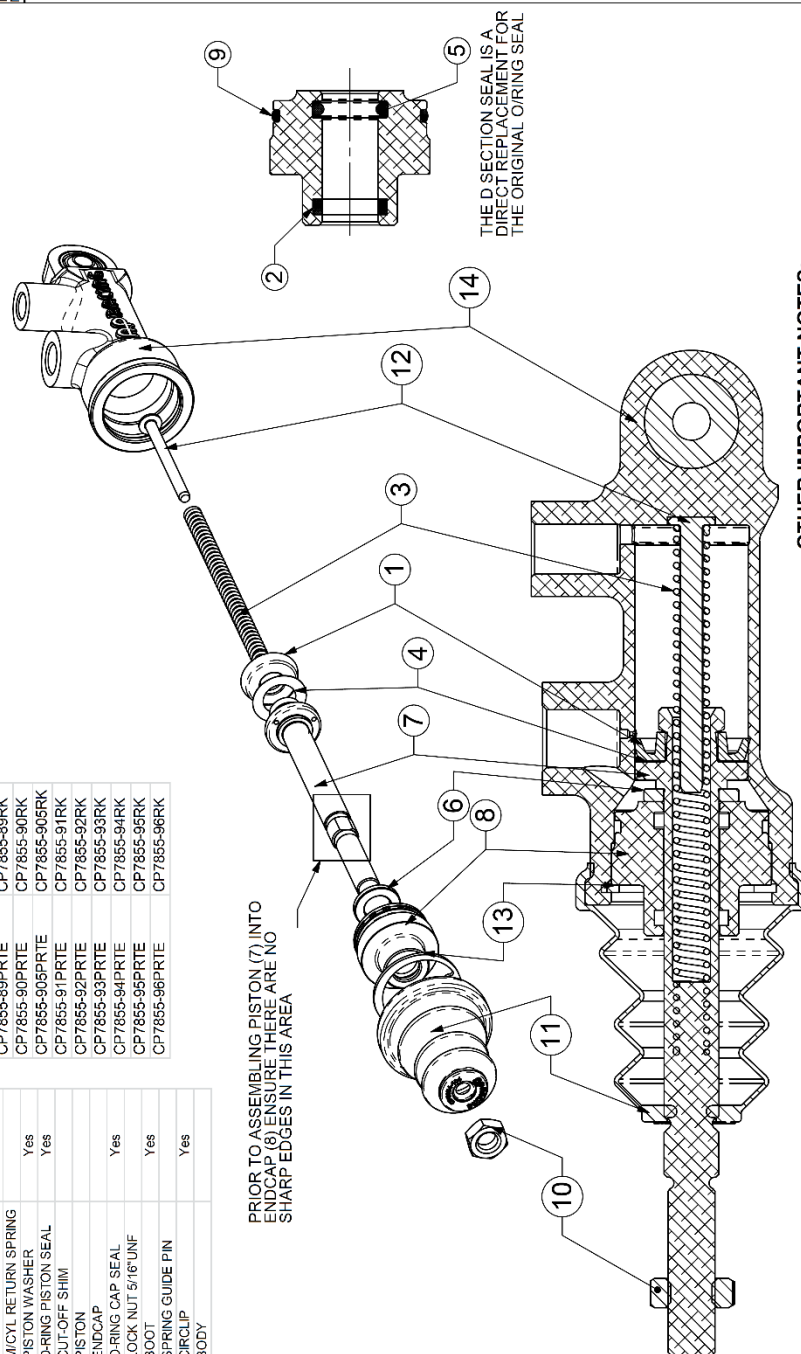
SCALE 1:1	SHEET 1 OF 2
DRAWN	D.AROWSMITH
APPROVED	
DERIVED FROM	
TITLE	
SPHERICAL BEARING MOUNTING	
MASTER CYLINDER	
DRG NO.	CP7855-1CD

FIRST ANGLE PROJECTION

If this document is printed in hardcopy, it is for information use only and therefore is not subject to updating controls. Always refer to viewer for latest issue.

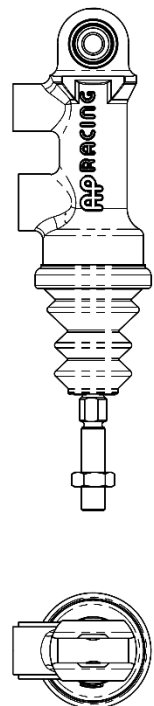
MASTER CYLINDER PART NUMBER	REPAIR KIT
CP7855-88PRT	CP7855-88RK
CP7855-89PRT	CP7855-89RK
CP7855-90PRT	CP7855-90RK
CP7855-90SPRT	CP7855-905RK
CP7855-91PRT	CP7855-91RK
CP7855-92PRT	CP7855-92RK
CP7855-93PRT	CP7855-93RK
CP7855-94PRT	CP7855-94RK
CP7855-95PRT	CP7855-95RK
CP7855-96PRT	CP7855-96RK

No.	Issue	Alterations		Zone	Initials
		Date & No.	Particulars		
			SEE SHEET 1 FOR ISSUE INFORMATION.		



OTHER IMPORTANT NOTES:

- ENSURE BORE IS FREE FROM DEBRIS.
- LUBRICATE SEALS AND BORE WITH BRAKE FLUID PRIOR TO ASSEMBLY.
- CARE MUST BE TAKEN WHEN ASSEMBLING SEALS AS DAMAGE MAY BE CAUSED.
- THE CHANGING OF INTERNAL COMPONENTS OF THE MASTER CYLINDER IN RARE CASES, MAY ALTER THE DISTANCE TO A SET POINT AND BE ABLE TO EFFECT THE CHANGING OF A SET POINT. IT IS RECOMMENDED THAT ALL DISASSEMBLY AND REASSEMBLY OF THE MASTER CYLINDER BE DONE BY A QUALIFIED PERSON. MANY PARTS THAT HAVE BEEN DISASSEMBLED ARE NEPT WITH THE RIGHT CYLINDER AND ARE NOT MIXED.



23

BRAKE ACCESSORIES

Accessories

Balance Bars



600-Series Balance Bars

Designed for use with fixed-mounted dual master cylinder systems. Allows front-to-rear brake bias adjustments.

- High-strength steel bars
- Low-friction spherical bearings
- Forged aluminum clevises
- Steel outer tube

Diameter	Length	Center-to-Center	Part Numbers
3/8"-24	4.75"	2.50"	72-250
7/16"-20	5.20"	2.50"	72-260

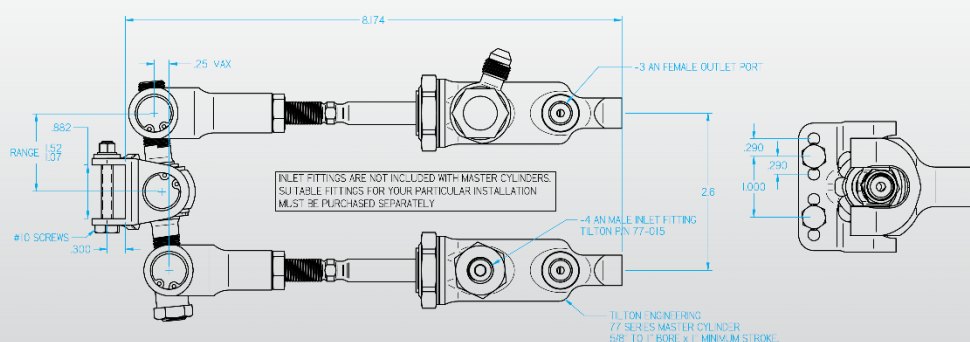


900-Series Balance Bars

As used in Tilton 900-Series pedal assemblies, these balance bars can be adapted to customer pedal applications. Designed for use with 77-Series master cylinders, this balance bar system is engineered to maximize dual master cylinder braking systems by eliminating friction typically found in traditional balance bar systems.

- Machined billet aluminum black anodized clevises
- For use with Tilton advanced 900-Series pedal assemblies
- Needle bearings ensure smooth operation
- 4-way bearing provides maximum movement range

Diameter	Length	Center-to-Center	Part Number
7/16"-20	3.95"	2.60"	72-280



Not designed for use with Anti-lock Brake Systems (ABS)

C4. Polsador analògic RS PRO



ENGLISH

Datasheet Miniature Toggle Switch

RS Stock number 734-7062



Specifications:

MECHANICAL LIFE:	40,000 make-and-break cycles.
CONTACT RESISTANCE:	10mΩ max. initial @ 2-4VDC 100mA for both silver and gold plated contacts
INSULATION RESISTANCE:	1000MΩmin.
DIELECTRIC STRENGTH:	1,000Vrms min. @ sea level.
OPERATING TEMPERATURE:	-30°C to 85°C.
CASE:	Dially phthalate (DAP) UL94v-0)
ACTUATOR:	Brass, chrome plated
Bushing:	Brass, nickel plated
Housing:	Stainless steel
CONTACT/TERMINAL:	Brass, Silver or gold plated
Switch Support:	Brass, tin plated
RoHS:	2002/95/EC

RS, Professionally Approved Products, gives you professional quality parts across all products categories. Our range has been testified by engineers as giving comparable quality to that of the leading brands without paying a premium price.

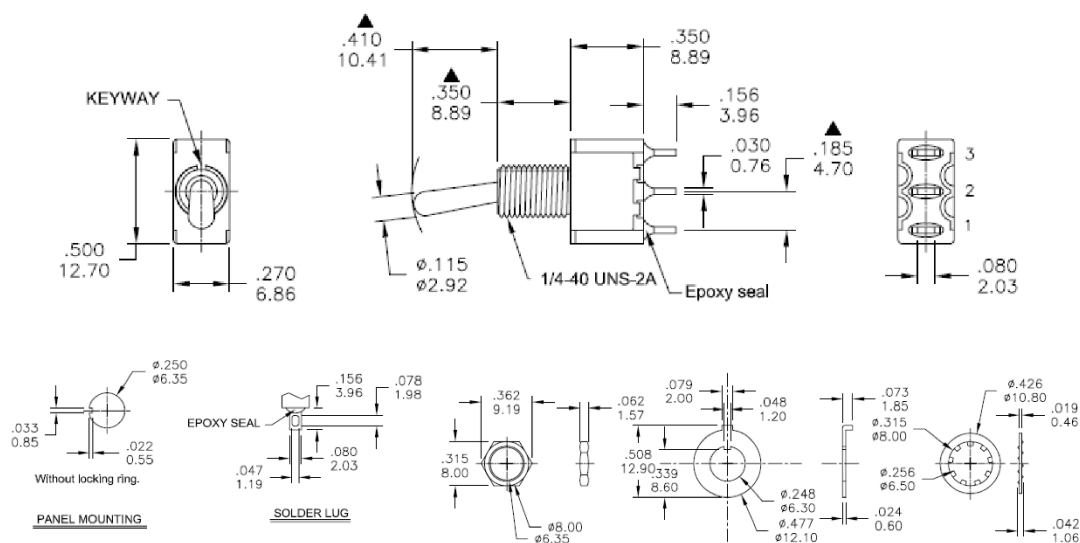


UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est



ENGLISH

Dimensions – inch mm



Model No.	POS.1	POS.2	POS.3
1MS1	ON	NONE	ON
Term. Comm.	2-3	OPEN	2-1
SCHEMATIC			

SWITCH FUNCTION

RS, Professionally Approved Products, gives you professional quality parts across all products categories. Our range has been testified by engineers as giving comparable quality to that of the leading brands without paying a premium price.



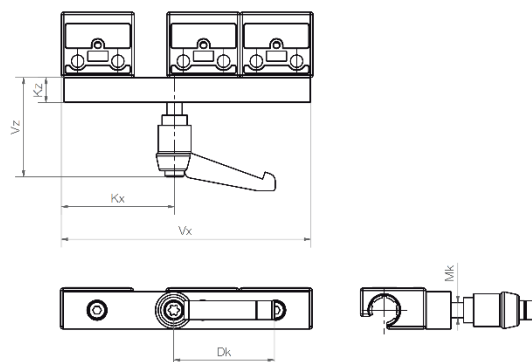
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

C5. Fre autoblocant d'altres forces WHKD-1010 IGUS

drylin® W | Profile guides | Product range

Manual clamp for higher retention forces

drylin® W
profile
guides



Technical data and dimensions [mm]

Part No.	Mk	Vx	Kx	Vz	Kz	Dk	Min. holding strength ⁶⁷⁾	Min. tightening torque
WHKD-1010 ⁶⁹⁾	M6	100	45	40	10	40	70 N	2.5 Nm
WHKD-1015 ⁶⁹⁾	M6	150	95	40	10	40	70 N	2.5 Nm
WHKD-1615 ⁶⁹⁾	M8	150	81	40	12	40	90 N	3.5 Nm
WHKD-1620 ⁶⁹⁾	M8	200	131	10	12	40	90 N	3.5 Nm
WHKD-2015 ⁶⁹⁾	M8	150	63	40	12	40	90 N	3.5 Nm
WHKD-2020 ⁶⁹⁾	M8	200	113	40	12	40	90 N	3.5 Nm

⁶⁹⁾ The hand clamp WHKD is available assembled in the following complete carriages: WW-10-40-10-HKD, WW-20-80-15-HKD. Dimensions ► Complete carriage WW, Page 808

⁶⁷⁾ Condition: dry rail surface

3D-CAD files, prices and delivery time ► www.igus.eu/drylinW

813



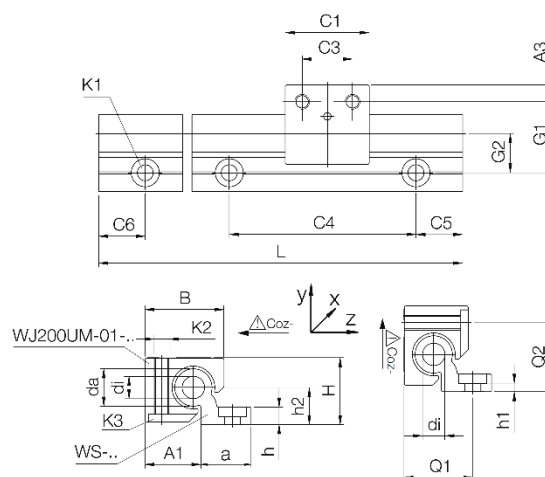
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

C6. Guies lineals WS-10 IGUS

drylin® W
profile
guides

drylin® W profile guides | Product range

Single rail, round, hard-anodised aluminium



This assembled position
not possible for WS-10



Hard anodised surfaces

► Page 840



Stainless steel version available

► Page 862



Curved rail profiles

► Page 844

Technical data and dimensions [mm]

Part No.	Weight	H ⁵⁷⁾	da	di	L	a	h	h1	h2	G1	G2	A1	Q1	Q2
	[kg/m]	±0.25	-0.1		max.									
WS-10	0.62	18	10	–	4,000	27	5.5	5.5 ⁵⁸⁾	9	27	17	16.5	–	–
WS-16	0.98	27	16	8.0	4,000	27	7.5	3.5	14	33	19	25	32	28
WS-20	1.32	36	20	10.2	4,000	27	9.5	4.5	20	38	21	30	37	37
WS-25	2.03	45	25	14	4,000	32	11.5	5.5	25	46.5	25.5	37.5	45.5	46

Part No.	C1	C3	C4	C5 min.	C5 max.	C6 min.	C6 max.	A3	K1 for screw DIN 912	Iy [mm ⁴]	Iz [mm ⁴]	Wby [mm ³]	Wbz [mm ³]
WS-10	29	16	120	20	79.5	20	79.5	6.5	M6 ⁵⁸⁾	19,000	2,850	1,000	310
WS-16	36	18	120	20	79.5	20	79.5	9	M8	36,000	12,900	1,800	940
WS-20	45	27	120	20	79.5	20	79.5	9	M8	57,100	35,000	2,700	1,900
WS-25	58	36	150	25	99.5	25	99.5	11	M10	129,000	86,000	4,900	3,800

Standard hole pattern: C5=C6, please order with drawing for C5≠C6

⁵⁷⁾ Height dimension minus the bearing clearance tolerance

⁵⁸⁾ Plain holes

Can be combined with:



WJ200UM(T)...



WJ200UME...



WJUM...-ES-FG



WJRM...

858 Online tools and more information ► www.igus.eu/drylinW

igus®

BARCELONATECH
ESCALA D'ENGINYERIA DE BARCELONA EST



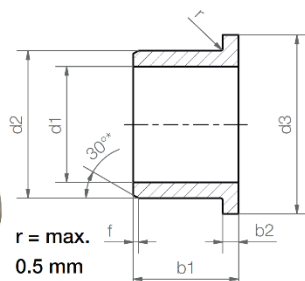
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

C8. Casquets JFM-0810-07 IGUS

iglidur® J | Product Range

iglidur®
J

Flange bearing



Order key

JFM-0304-03



Length b1
Outer diameter d2
Inner diameter d1
Metric
Type (Form F)
Material iglidur® J

Dimensions according to ISO 3547-1 and special dimensions

* thickness < 1 mm, chamfer = 20°

Chamfer in relation to the d1

d1 [mm]: Ø 1-6 | Ø 6-12 | Ø 12-30 | Ø > 30

f [mm]: 0.3 | 0.5 | 0.8 | 1.2

Dimensions [mm]

Part number	d1	d1-Tolerance*	d2	d3	b1	b2
				d13	h13	-0.14
JFM-0304-03	3.0	+0.014 +0.054	4.5	7.5	3.0	0.75
JFM-0304-045	3.0	+0.014 +0.054	4.5	7.5	4.5	0.75
JFM-0304-05	3.0	+0.014 +0.054	4.5	7.5	5.0	0.75
JFM-0306-10	3.0	+0.020 +0.080	6.0	9.0	10.0	1.5
JFM-0405-03	4.0	+0.020 +0.068	5.5	9.5	3.0	0.75
JFM-0405-06	4.0	+0.020 +0.068	5.5	9.5	6.0	0.75
JFM-0506-05	5.0	+0.020 +0.068	6.0	10.0	5.0	0.5
JFM-0507-03	5.0	+0.020 +0.068	7.0	11.0	3.0	1.0
JFM-0507-05	5.0	+0.020 +0.068	7.0	11.0	5.0	1.0
JFM-0608-04	6.0	+0.020 +0.068	8.0	12.0	4.0	1.0
JFM-0608-06	6.0	+0.020 +0.068	8.0	12.0	6.0	1.0
JFM-0608-08	6.0	+0.020 +0.068	8.0	12.0	8.0	1.0
JFM-0608-10	6.0	+0.020 +0.068	8.0	12.0	10.0	1.0
JFM-0610-10	6.0	+0.030 +0.105	10.0	14.0	10.0	2.0
JFM-0810-038	8.0	+0.025 +0.083	10.0	15.0	3.8	1.0
JFM-0810-05	8.0	+0.025 +0.083	10.0	15.0	5.0	1.0
JFM-0810-06	8.0	+0.025 +0.083	10.0	15.0	6.0	1.0
JFM-0810-07	8.0	+0.025 +0.083	10.0	15.0	7.0	1.0
JFM-0810-08	8.0	+0.025 +0.083	10.0	15.0	8.0	1.0
JFM-0810-10	8.0	+0.025 +0.083	10.0	15.0	10.0	1.0
JFM-0810125-10	8.0	+0.025 +0.083	10.0	12.5	10.0	1.0
JFM-081014-10	8.0	+0.025 +0.083	10.0	14.0	10.0	1.0
JFM-081016-11	8.0	+0.025 +0.083	10.0	16.0	11.0	2.0
JFM-0812-06	8.0	+0.025 +0.083	12.0	16.0	6.0	2.0
JFM-1012-05	10.0	+0.025 +0.083	12.0	18.0	5.0	1.0
JFM-1012-09	10.0	+0.025 +0.083	12.0	18.0	9.0	1.0

* after pressfit. Testing methods ► page 75



delivery from stock
time



prices price list online
www.igus.eu/eu/j

igus® GmbH Germany | Phone +49 2203 9649-145 Fax -334 | info@igus.de | www.igus.eu

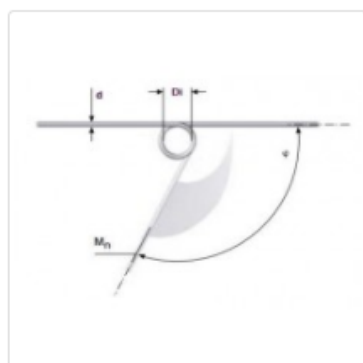
119



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

C9. Molla torsional DIN 2089 TOLE7163-R

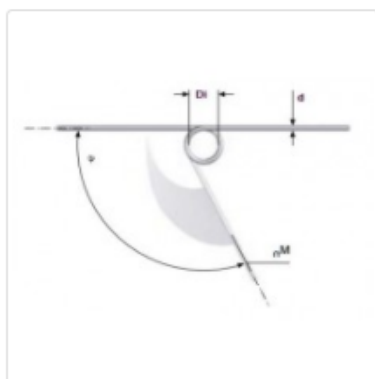
Muelle torsion s/DIN 2089 TOLE7163-R



Muelles de torsion	
Diámetro del alambre	2.5
Diámetro interior espira	12
Diámetro del eje	10
Angulo posición patas	B
Longitud patas	70
Longitud cuerpo	7.5
Mn Momento torsor maximo permitido Nmm	1755
Angulo torsion en Mn	28
Constante Nmm por grado	63.5
Sentido de arrollamiento	MANO DERECHA
numero de_espiras	2.25
Material	Inox. EN 10270-3 N5

C10. Molla torsional DIN 2089 TOLE7378-L

Muelle torsion s/DIN 2089 TOLE7378-L



Muelles de torsion	
Diámetro del alambre	2.5
Diámetro interior espira	12
Diámetro del eje	10
Angulo posición patas	B
Longitud patas	70
Longitud cuerpo	7.5
Mn Momento torsor maximo permitido Nmm	1755
Angulo torsion en Mn	28
Constante Nmm por grado	63.5
Sentido de arrollamiento	MANO IZQUIERDA
numero de_espiras	2.25
Material	Inox. EN 10270-3 N5

C11. Datasheet fibra RC416T Gurit

PROPERTY	SYMBOL	UNIT	RC200T	RC416T	TEST STANDARD
Resin Content	-	%	42	40	ASTM D 3171 Method II
Cured Ply Thickness	-	mm	0.23	0.44	ASTM D792
Fibre Volume Fraction	-	%	47 - 53	50 - 59	ASTM D 3171 Method II
0° Tensile Strength*	X_T	MPa	719	1006	ISO 527-4
0° Tensile Modulus*	E_t	GPa	60.6	59.1	ISO 527-4
90° Tensile Strength*	Y_T	MPa	662	858	ISO 527-4
90° Tensile Modulus*	E_{T22}	GPa	61.6	58.9	ISO 527-4
0° Compressive Strength*	X_C	MPa	759	649	SACMA SRM1-94
0° Compressive Modulus*	E_c	GPa	58.3	55.6	SACMA SRM1-94
90° Compressive Strength*	Y_C	MPa	731	659	SACMA SRM1-94
90° Compressive Modulus*	E_{C22}	GPa	59.0	55.2	SACMA SRM1-94
0° Flexural Strength	X_F	MPa	847	895	ISO 14125
0° Flexural Modulus	E_{F11}	GPa	51.2	49.4	ISO 14125
90° Flexural Strength	Y_F	MPa	857	892	ISO 14125
90° Flexural Modulus	E_{F22}	GPa	51.5	50.6	ISO 14125
ILSS	τ_M	MPa	74.8	55.8	ISO 14130

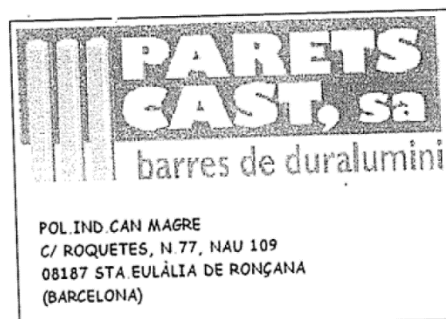
C12. Elements d'unió normalitzats

Taula C.12 Llista d'elements normalitzats necessaris per al muntatge del sistema

Tipus	Característiques	Unitats
Canya calibrada	ISO 7379 M5x45	2
Canya calibrada	ISO 7379 M6x45	1
Canya calibrada	ISO 7379 M5x20	2
Canya calibrada	ISO 7379 M6x20	1
Cargol	DIN 912 M6x30	13
Rosca	ISO 7040 M5	4
Rosca	ISO 7040 M6	7
Rosca	ISO 7040 M3	12
Arandela	ISO 7089 M3	8
Arandela	ISO 7089 M5	4
Arandela	ISO 7089 M6	18
Arandela	ISO 7089 M3	4
Reblons	-	4

C13. Alumini 7075 T6

DECOLLETATGE FARRÉS S.A.



TELF: 93.844.76.80
FAX: 93.844.84.84
paretskast@paretskast.com

CERTIFICADO DE MATERIAL

ALB. 17/ 786

CONFORME A NORMA- EN 10204 3.1

KGS. 6,90

PRODUCTO
DESCRIPCIÓN

KGS. DE ALUMINIO EN ALEACIÓN 7075 T6 EXTRUIDO
DIÁMETRO 32 MM; L= 2950 - 3000 MM

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

COLADA	Lot	Rm N/mm2	Rp02 N/mm2	Alargamiento %	Dureza Hb	Pos.
204849	763	660	607	11	174	-

COMPOSICIÓN QUÍMICA

COLADA	Si %	Fe %	Cu %	Mn %	Mg %	Cr %	Zn %	Ti %
204849	0,0835	0,1483	1,3625	0,0555	2,3015	0,2198	5,4365	0,019

C14. Materials i productes per a la fabricació de peces de fibra de carboni

Taula C.13 Material necessari empleat durant el procés de fabricació de peces de fibra de carboni

Concepte	Quantitat	Cost Unitari	Cost Total
Resina epoxy	1 L	22,87 €/L	22,87 €
Cera desemmotllant	1	26,60 €/unitat	26,60 €
Peel ply	0,5 m ²	1,5 €/m ²	0,75 €
P6	1 m ²	1 €/m ²	1 €
P0	1 m ²	1 €/m ²	1 €
Reixa de distribució	2 m ²	1,90 €/m ²	3,8 €
Manta de absorció	2 m ²	1,5 €/m ²	3 €
Bossa de buit	5 m ²	1,21 €/m ²	6,05 €
Tubs de circuit de resina	3 m	1,30 €/m	3,9 €
		TOTAL	68,97 €

Annex D: Taula de pesos del sistema

Taula D.1 Pesos pedal accelerador

Peça	Massa (gr)	Unitats	Massa (gr)
Pedal accelerador	51	1	51
Base de subjecció	46,37	1	46,37
Talonera	8,21	1	8,21
Sensor	26	2	52
Canya calibrada ISO 7379 M5x45	15	2	30
Canya calibrada ISO 7379 M6x45	24,75	1	24,75
Cargol DIN 912 M6x30	8	3	24
Rosca ISO 7040 M5	2	2	4
Rosca ISO 7040 M6	2,66	1	2,66
Rosca ISO 7040 M3	1,6	4	6,4
Arandela ISO 7089 M3	0,2	4	0,8
Arandela ISO 7089 M5	0,8	4	3,2
Arandela ISO 7089 M6	0,2	4	0,8
		TOTAL	254,19 gr

Taula D.2 Pesos pedal de frenada

Peça	Massa (gr)	Unitats	Massa (gr)
Pedal de fre	124,56	1	124,56
Base de subjecció	117,7	1	117,7
Bombes	170	2	340
Balance bar	200	1	200
Sensor	26	1	26
Foot suport	7,61	1	7,61
Talonera	8,21	1	8,21
Rosca ISO 7040 M5	2	2	4
Canya calibrada ISO 7379 M5x20	8,75	2	17,5
Canya calibrada ISO 7379 M6x20	32,64	1	32,64
Arandela ISO 7089 M6	0,2	4	0,8
Cargol DIN 912 M6x30	8	4	32
Rosca ISO 7040 M3	1,6	4	6,4
Arandela ISO 7089 M3	0,2	4	0,8
Rosca ISO 7040 M3	2	4	8
Reblons	0,5	4	2
		TOTAL	928,22 gr

Taula D.3 Pesos sistema de guies

Peça	Massa (gr)	Unitats	Massa (gr)
Guies WS-10 IGUS	176	2	352
Cargol 7379 M6	12,34	6	74,04
Rosca ISO 7040 M6	3,75	6	22,55
Fre autoblocants	185	2	370
		TOTAL	818,59 gr

Taula D.4 Pesos totals de sistema

Peça	Massa Total (gr)
Pedal accelerador	254,19
Pedal de fre	928,22
Sistema de guies	818,59
TOTAL	2001,004 gr

TREBALL FI DE GRAU

Grau en Enginyeria Mecànica

**ESTUDI I DISSENY DEL SISTEMA DE PEDALARIA PER UN
MONOPLAÇA DE FORMULA STUDENT**



Volum III

Plànols

Autor: David Garcia Bascoy
Director: Rubén Arroyo González
Convocatòria: Maig 2018

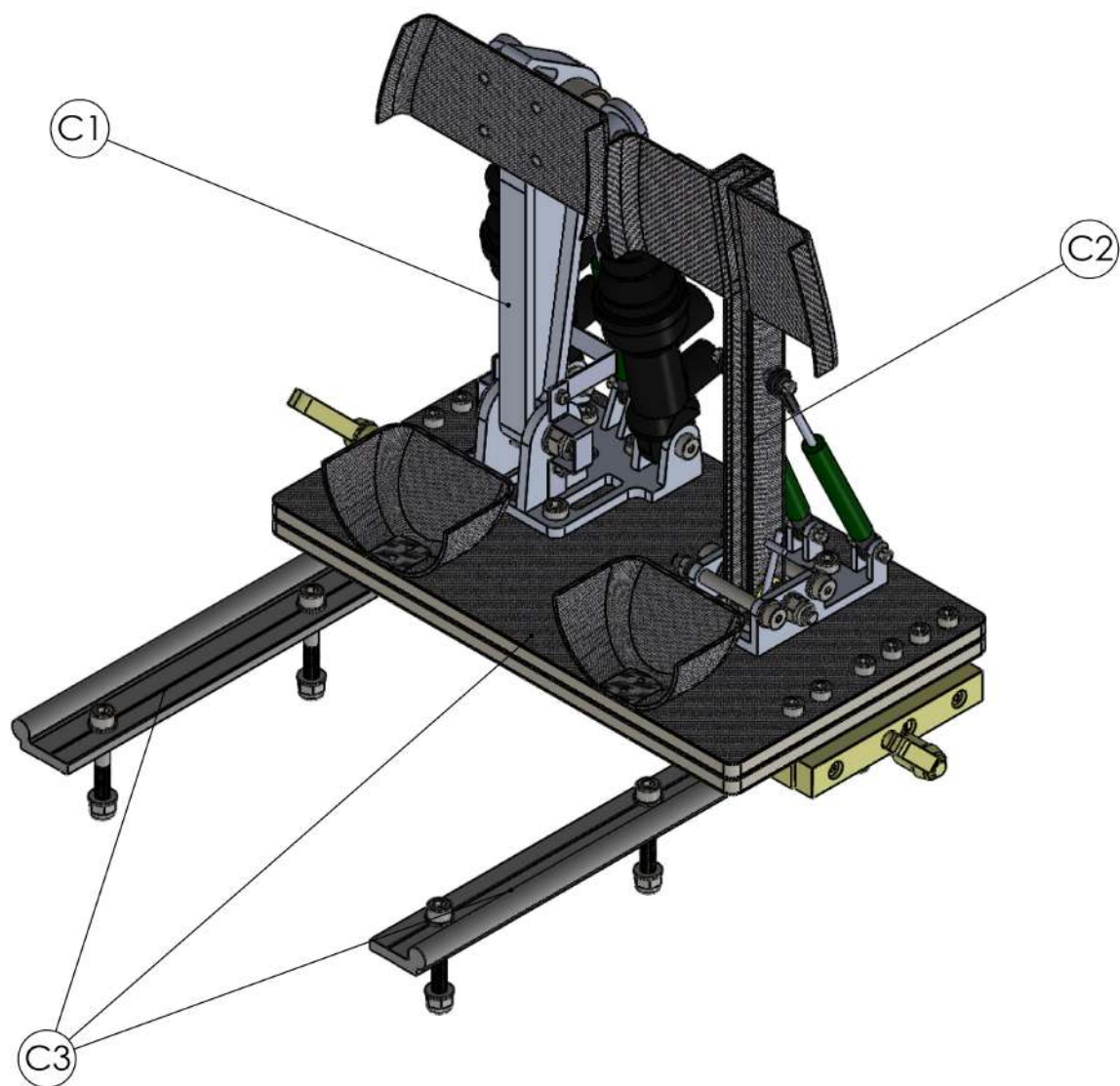
Plànols

A continuació es presenten els diferents plànols emprats per la fabricació del sistema.

Cal apuntar que en algunes peces, no esta acotades en la seva totalitat, sinó només aquelles distancies generals. Aquestes seran mecanitzades partir de d'una fresadora CNC que treballarà amb un arxiu 3D de format IGS o Step, i el plànols en qüestió serviran com a referencia per a l'operari.

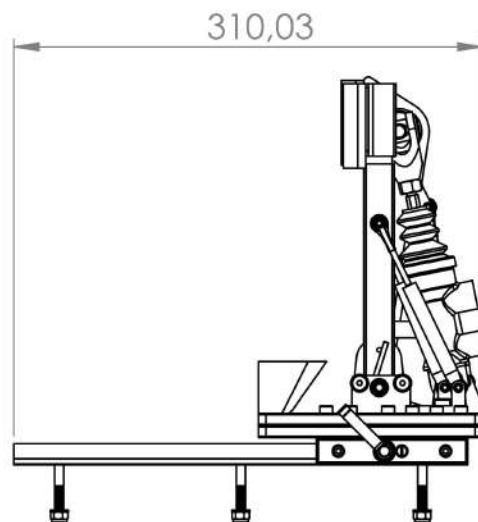
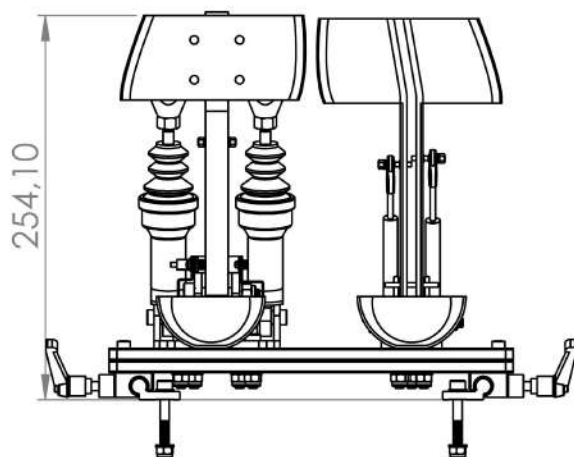
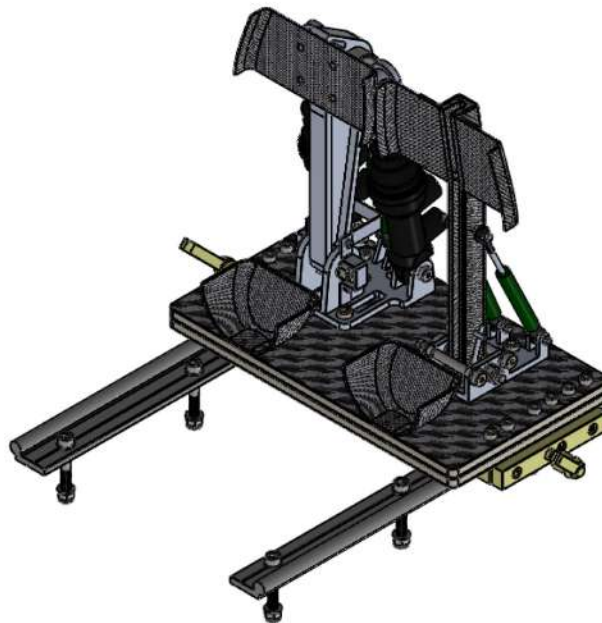
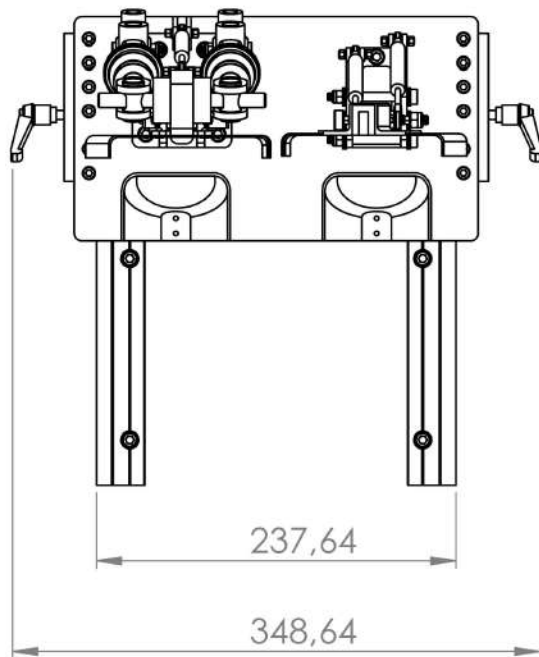
Això es degut a que moltes de les empreses amb les que col·labora e-Tech Racing tenen un gran volum de treball i sol·liciten en alguns casos (en que les peces no requereixin de gran precisió) , simplement les cotes generals, per facilitar la feina a l'operari i poder detectar les mesures generals més ràpidament.

L'empresa Goded només requereix d'un DXF per la operació de tall per làser.



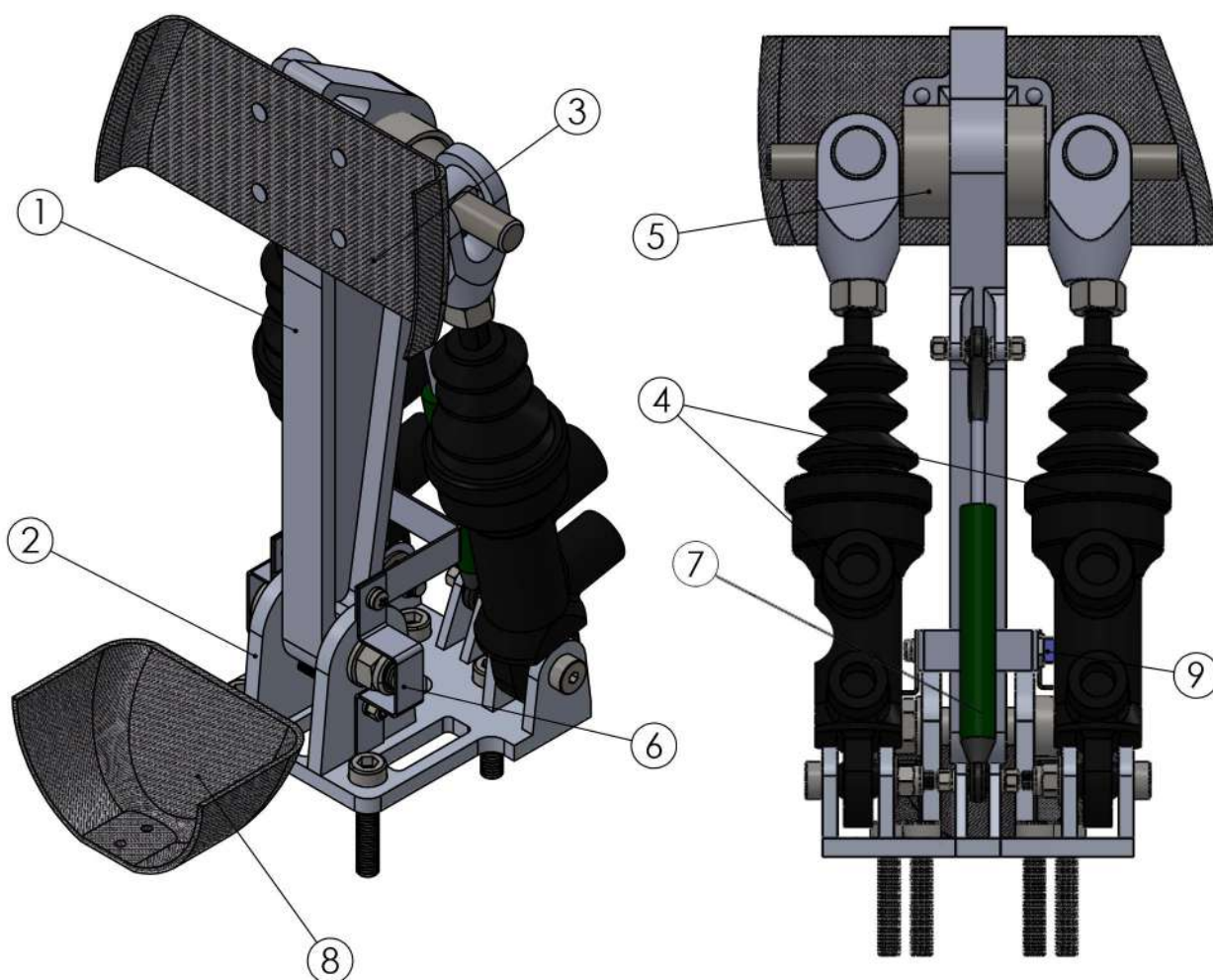
Nº	Conjunt
C1	Pedal fre
C2	Pedal accelerator
C3	Guies + base

	Fecha	Nombre	Firma	Comentario:	
Dibujado	25/04/2018	David Garcia			
Comprobado					
Escala: 1:3	1er angulo 	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH			Tolerancias generales de fabricacion: DIN 7 168
Assembly Pedal Box System					Material:
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.					Peso: 2,1 Kg
Formato:	A4	Pagina:	Hoja 1 de 1	Versión: 1.1	Cantidad: 1



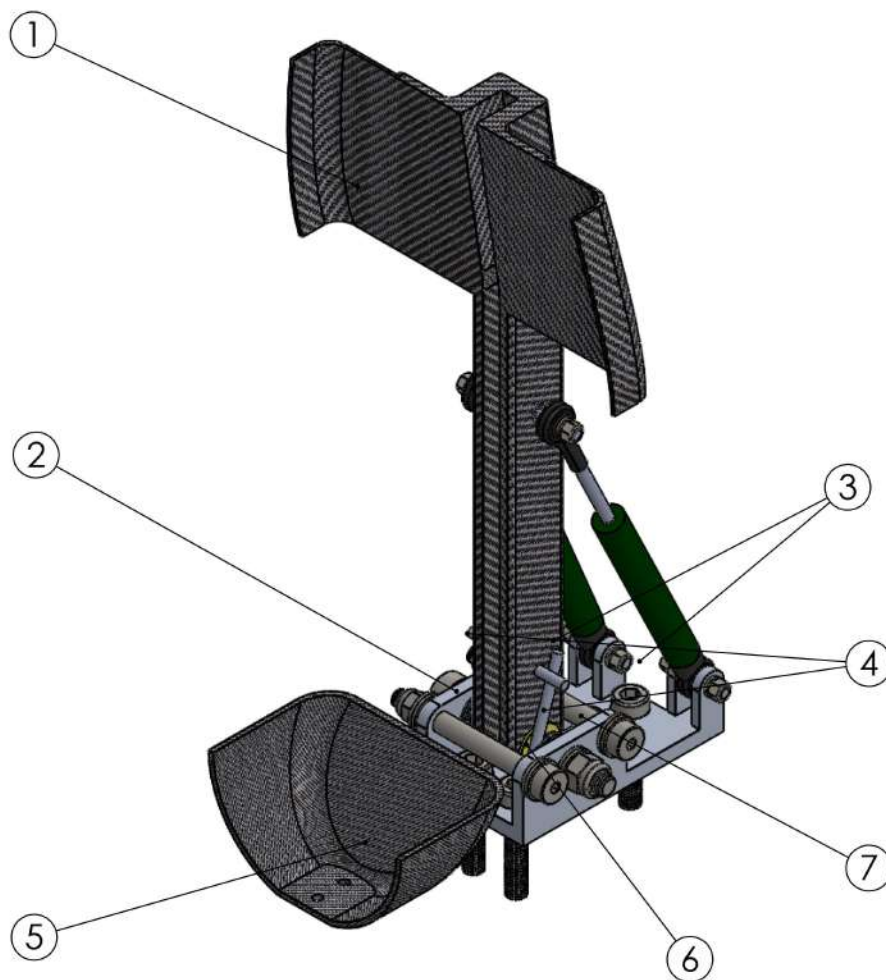
	Fecha	Nombre	Firma	Comentario:	
Dibujado	25/04/2018	David Garcia			
Comprobado					
Escala: 1:5	1er angulo 	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH			Tolerancias generales de fabricacion DIN 7 168
Assembly Pedal Box System					Material:
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.					Peso: 2,1 Kg
Formato:	A4	Pagina:	Hoja 1 de 1	Versión:	1.1
					Cantidad: 1

Nº	Descripció
1	Pedal de fre
2	Base de subjecció
3	Foot suport
4	Bombes de fre
5	Balance bar
6	Estructura BOTS
7	Sensor lineal
8	Talonera
9	Interruptor BOTS

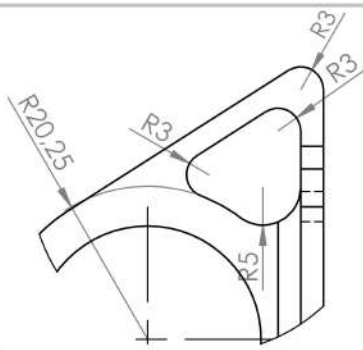
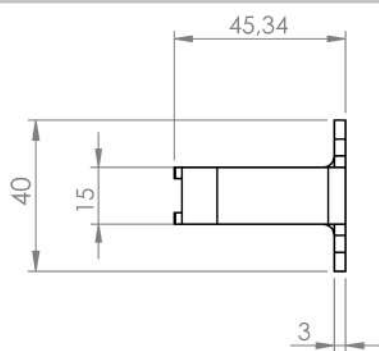


	Fecha	Nombre	Firma	Comentario:	
Dibujado	28/04/2018	David Garcia			
Comprobado					
Escala:	1er angulo	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH			Tolerancias generales de fabricacion DIN 7 168
1 : 2					Principals components Conjunt fre
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.					Peso: 928 gr
Formato:	A4	Pagina:	Hoja 1 de 1	Versión:	1.1
Cantidad:					1

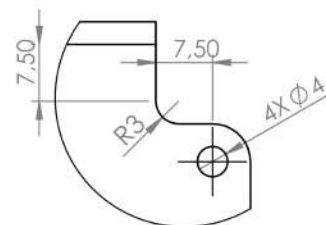
Nº	Descripció
1	Pedal accelerador
2	Base de subjecció
3	Sensors lineals
4	Molles de retorn
5	Talonera
6	Casquet antifricció
7	Topall mecànic



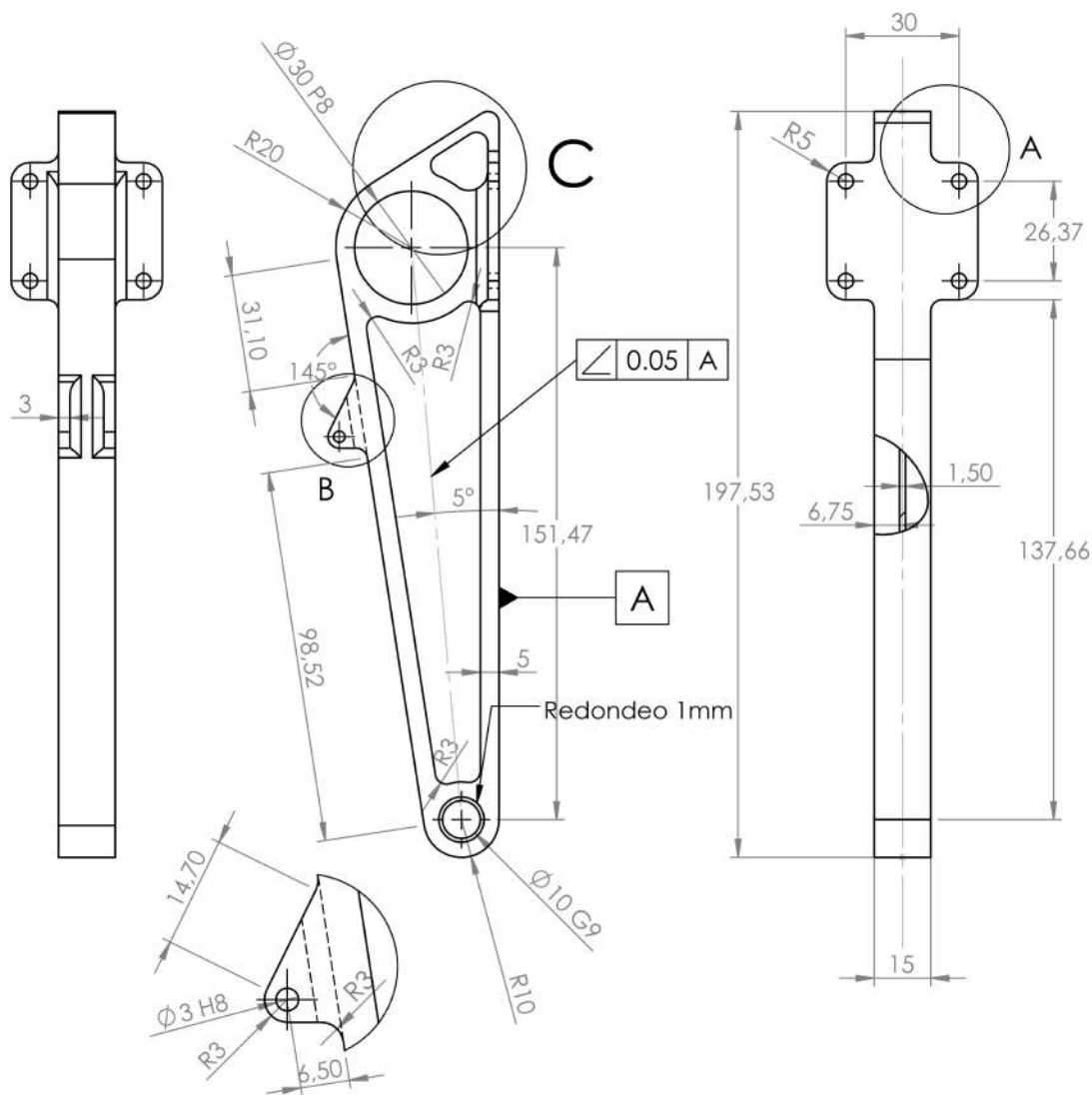
	Fecha	Nombre	Firma	Comentario:	
Dibujado	28/04/2018	David Garcia			
Comprobado					
Escala:	1er angulo	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH			Tolerancias generales de fabricacion: DIN 7 168
1:2					Principals components Conjunt accelerador
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.					Peso: 254 gr
Formato:	A4	Pagina:	Hoja 1 de 1	Versión:	Cantidad:
				1.1	1



DETALLE C
ESCALA 1 : 1

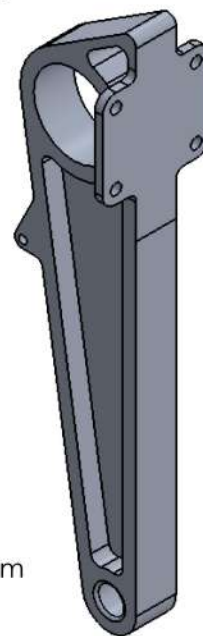


DETALLE A
ESCALA 1 : 1

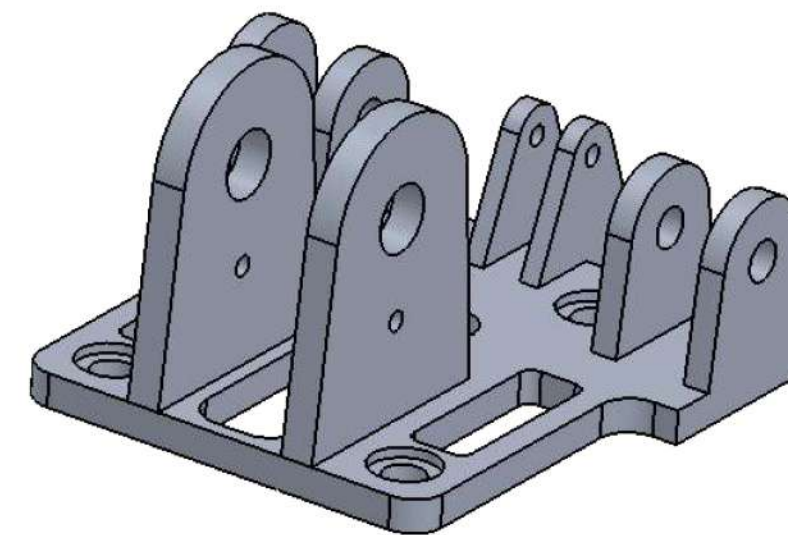
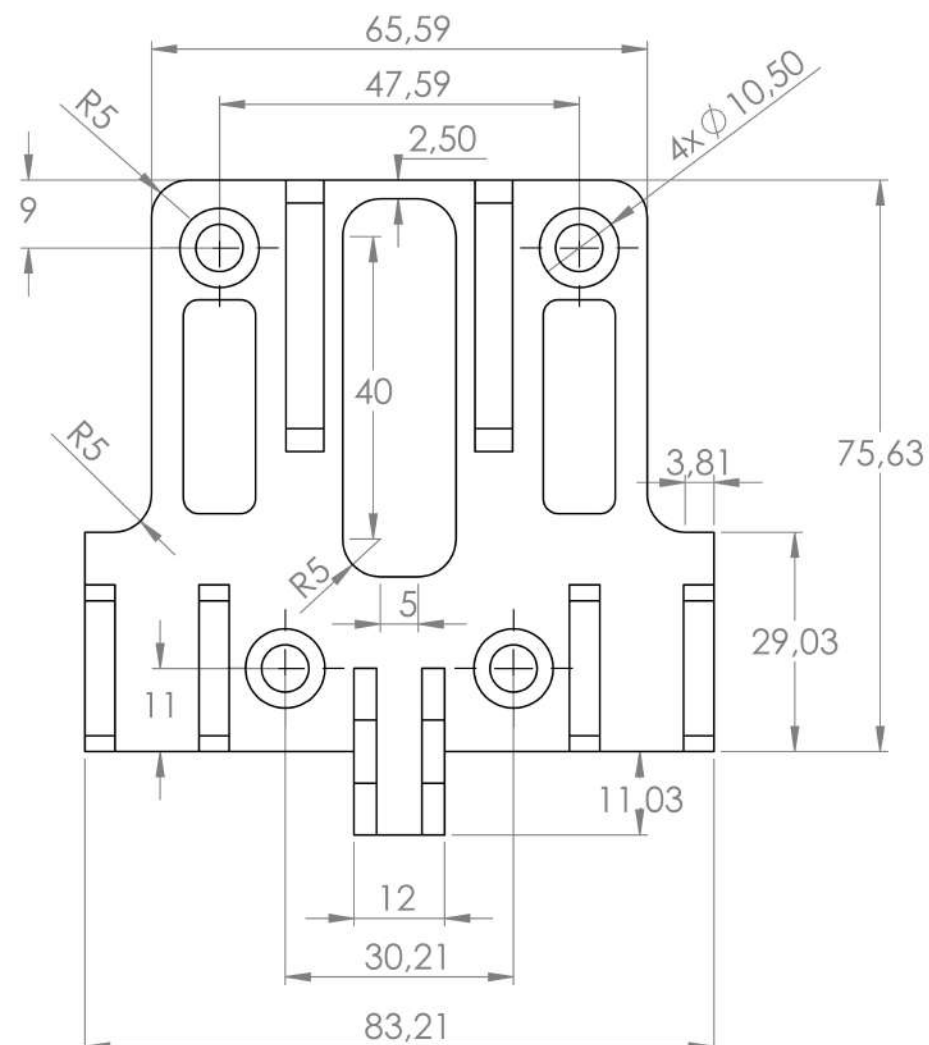
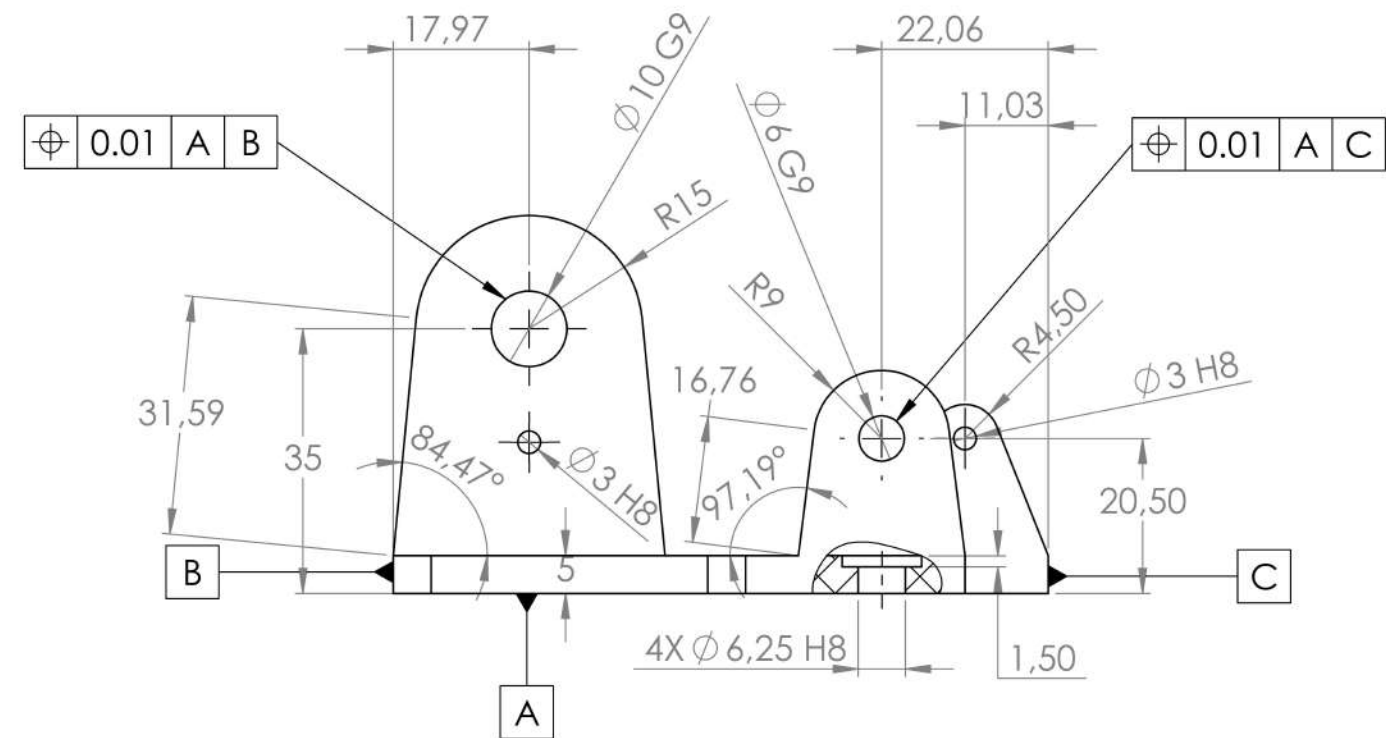
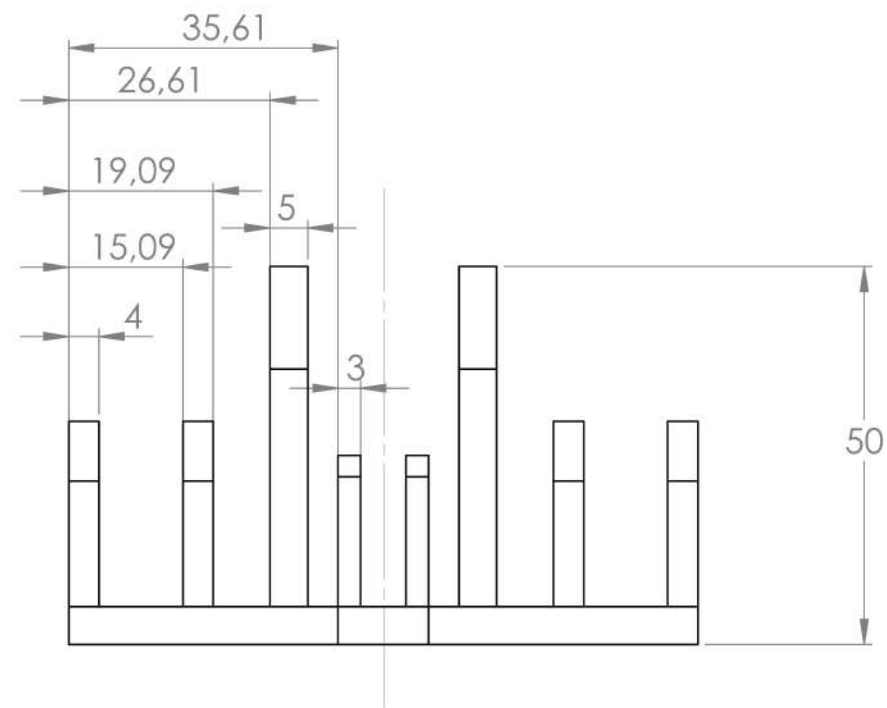


DETALLE B
ESCALA 1 : 1

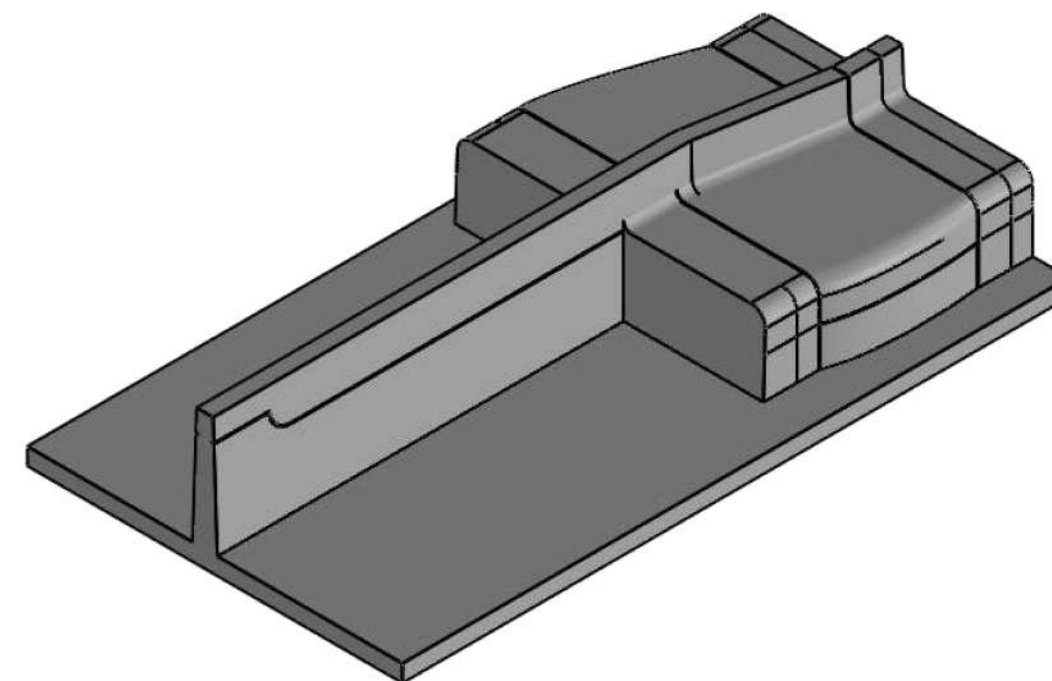
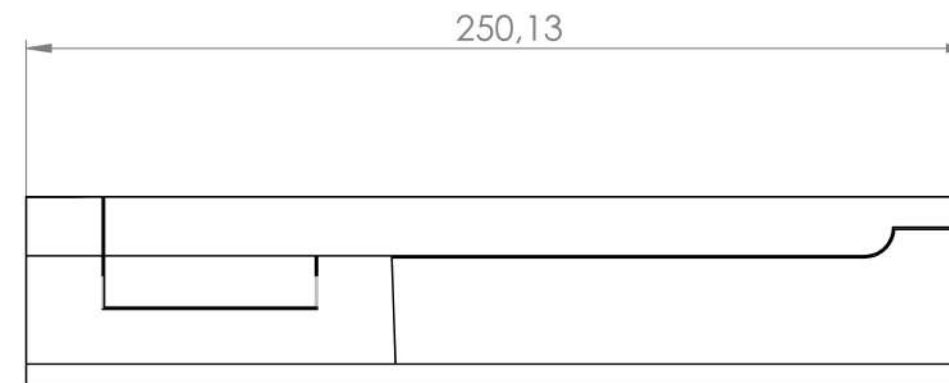
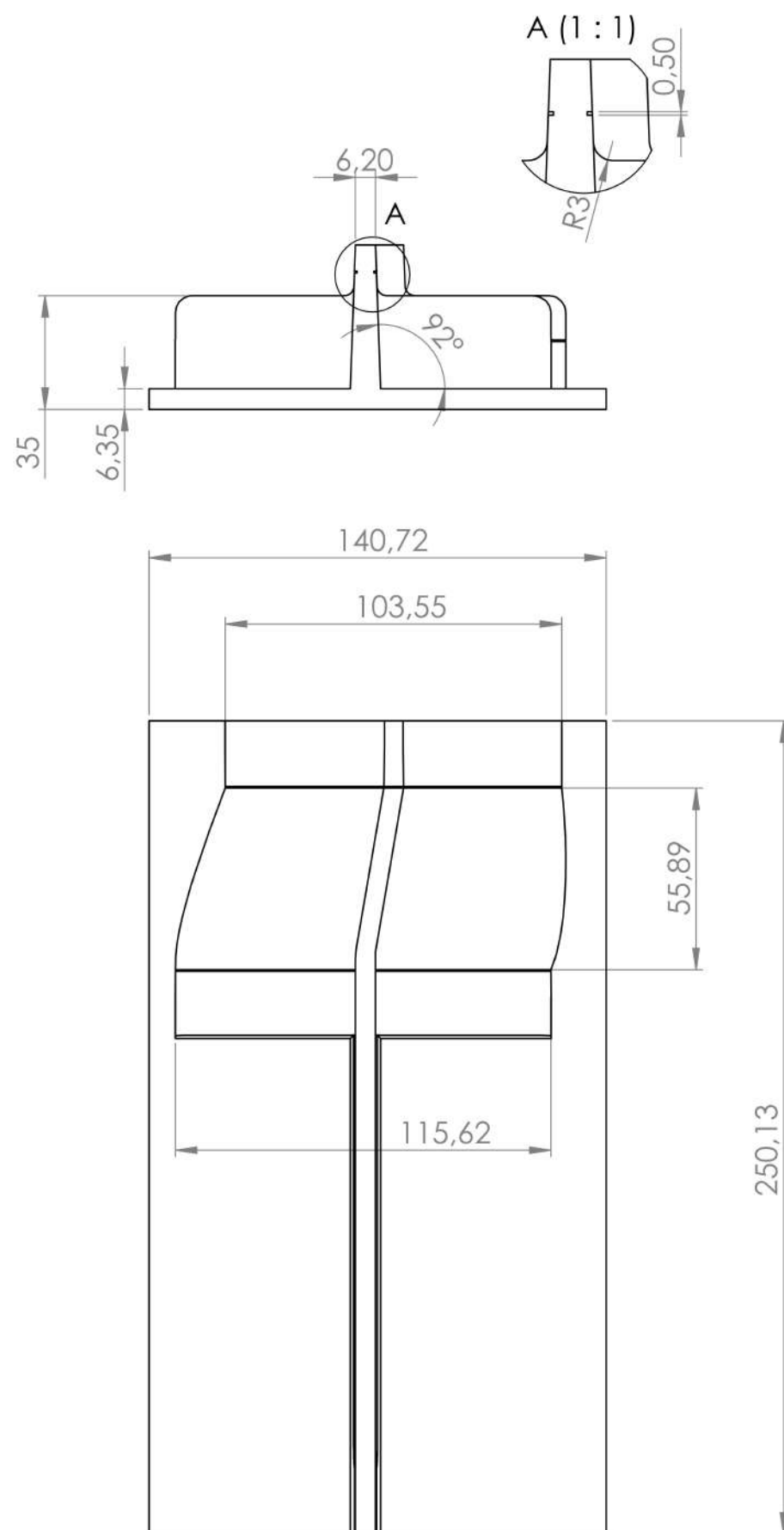
Nota: Rendoneos no especificados 3 mm



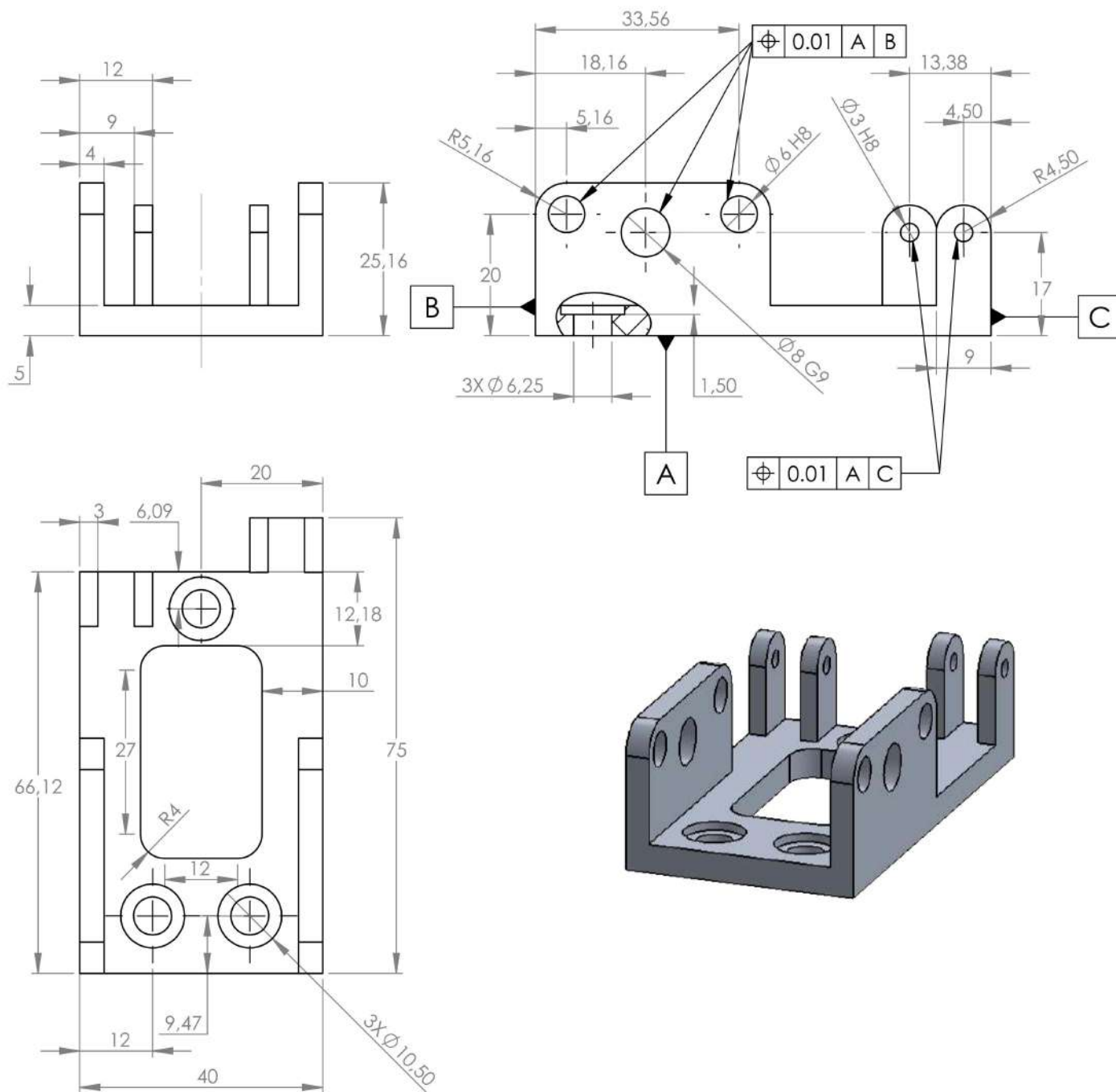
	Fecha	Nombre	Firma	Comentario:	
Dibujado	22/03/2018	David Garcia			
Comprobado					
Escala:	1er angulo	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH			Tolerancias generales de fabricacion DIN 7 168
1:2					Pedal Brake
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.					Peso: 125 g
Formato:	A4	Pagina:	Hoja 1 de 1	Versión:	Cantidad:
				1.5	1



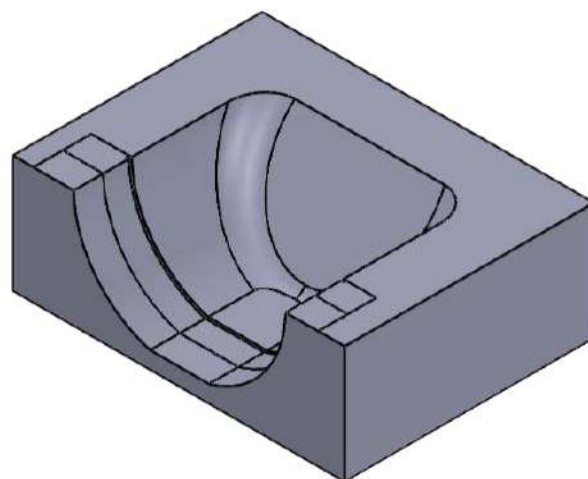
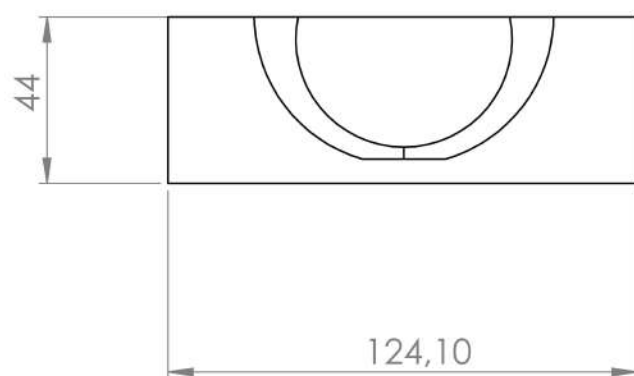
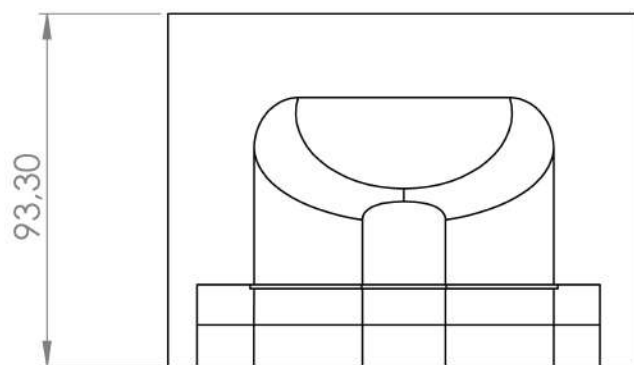
	Fecha	Nombre	Firma	Comentario: posible cambio de material a Al 6061	
Dibujado	22/03/2018	David Garcia			
Comprobado					
Escala:	1er angulo	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH			Tolerancias generales de fabricacion: DIN 7 168
1:1		Base pedal brake			Material: Al 7075 T6
					Peso: 117g
Formato:	A3	Pagina:	Hoja 1 de 1	Versión:	1.3
					Cantidad: 1



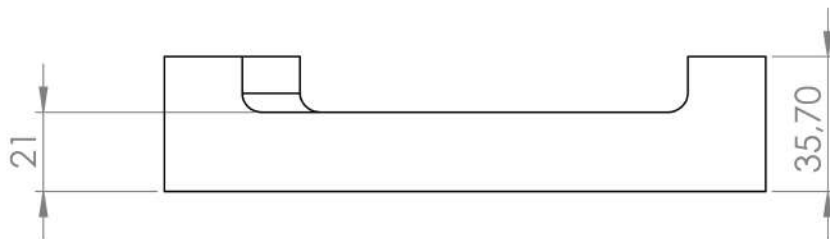
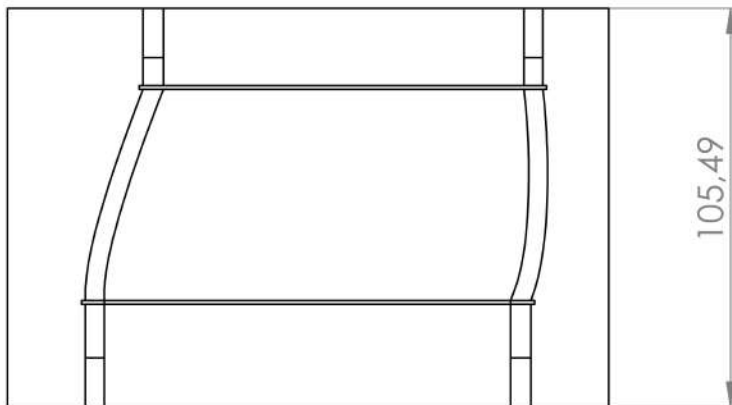
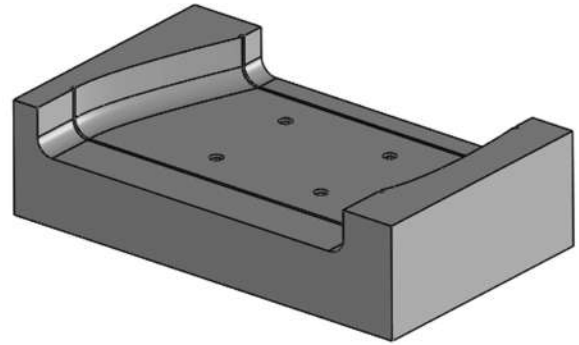
	Fecha	Nombre	Firma	Comentario:	
Dibujado	17/03/2018	David Garcia		Dejar redondeos según herramienta	
Comprobado					
Escala:	1er angulo	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH			Tolerancias generales de fabricacion:
1:2		Molde pedal acelerador			DIN 7 168
					Material: Aluminio
					Peso: g
Formato:	A3	Pagina:	Hoja 1 de 1	Versión:	Cantidad: 1



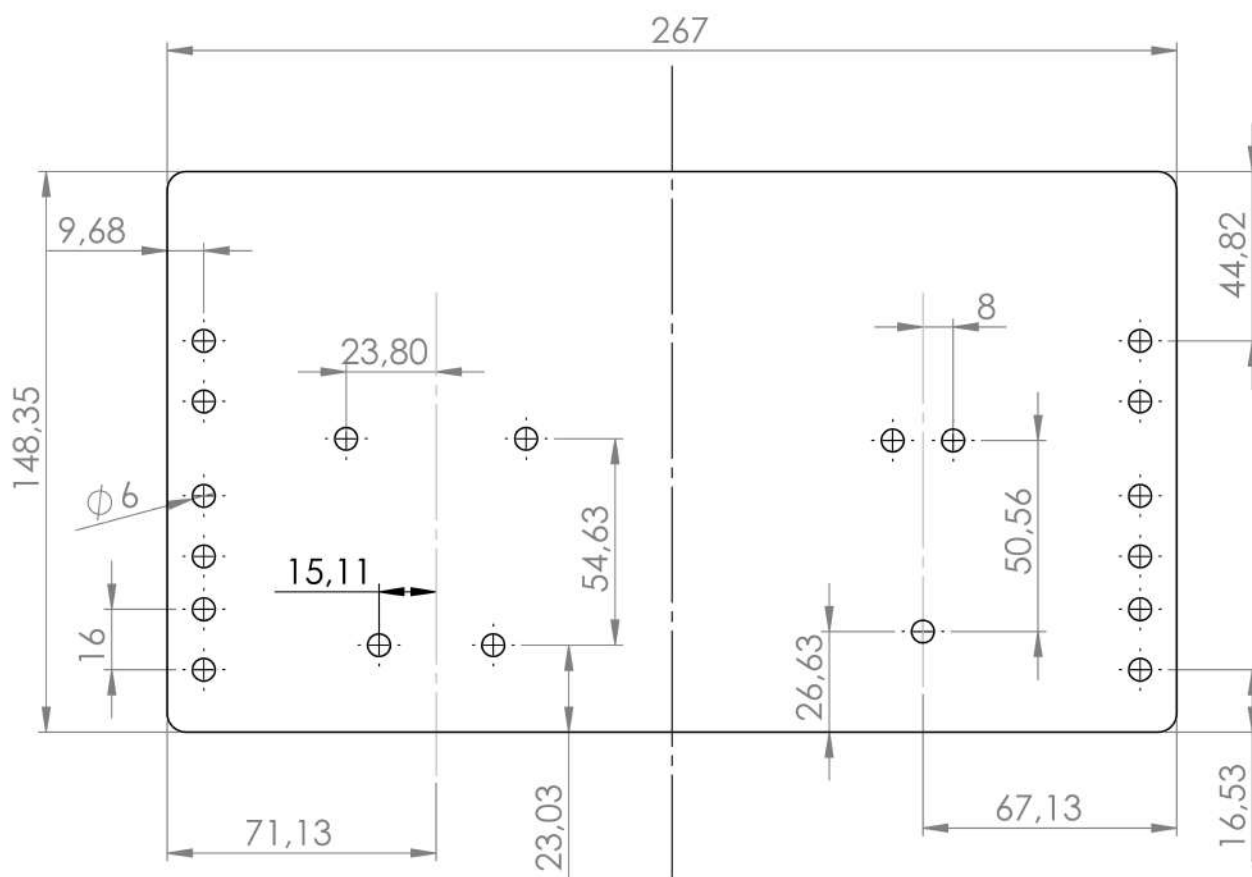
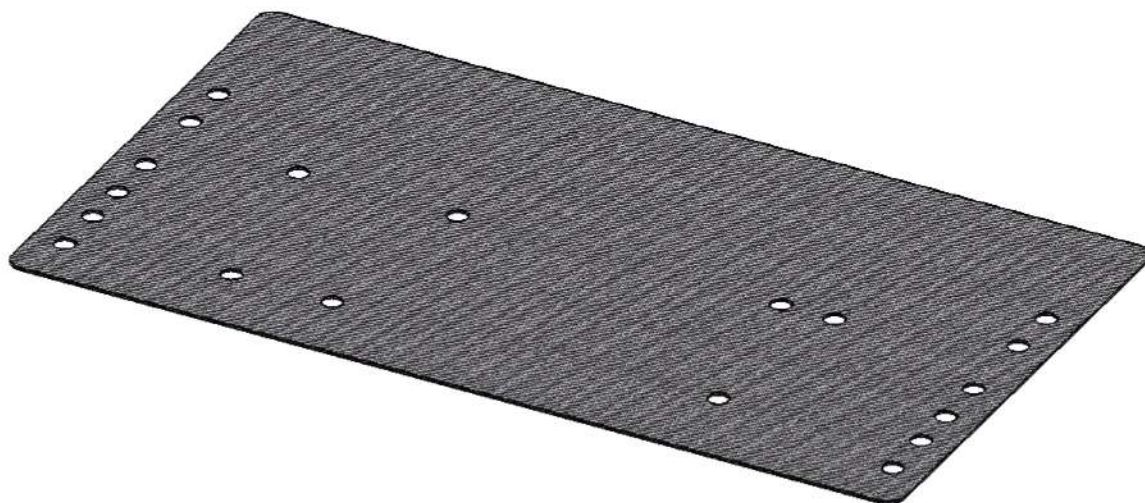
	Fecha	Nombre	Firma	Comentario: Comentario: posible cambio de material a Al 6061	
Dibujado	29/12/2017	David Garcia			
Comprobado					
Escala:	1er angulo	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH			Tolerancias generales de fabricacion: DIN 7 168
1:2					Base pedal acelerador
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.					Peso: 46,4g
Formato:	A4	Pagina:	Hoja 1 de 1	Versión:	1.3
Cantidad:					1



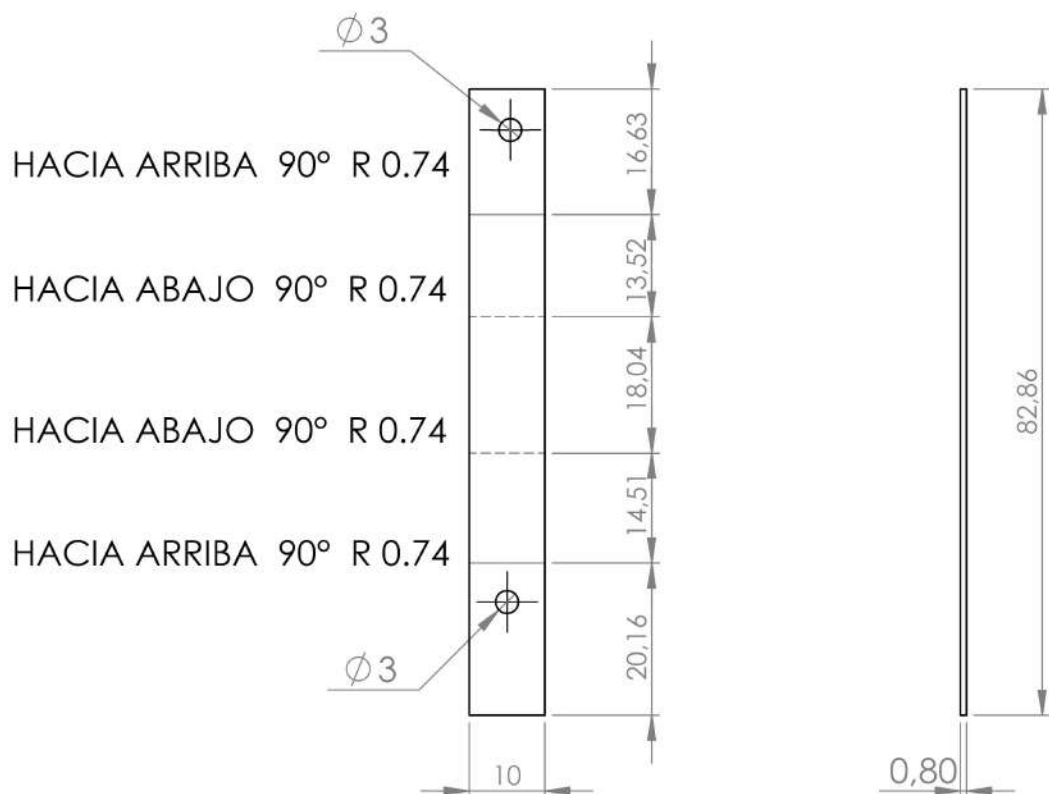
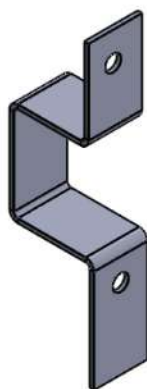
	Fecha	Nombre	Firma	Comentario:	
Dibujado	17/03/2018	David García			
Comprobado					
Escala: 1:2	1er angulo 	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH			Tolerancias generales de fabricacion: DIN 7 168
Molde Talonera					Material: madera de pino
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.					Peso: g
Formato:	A4	Pagina:	Hoja 1 de 1	Versión: 1.1	Cantidad: 1



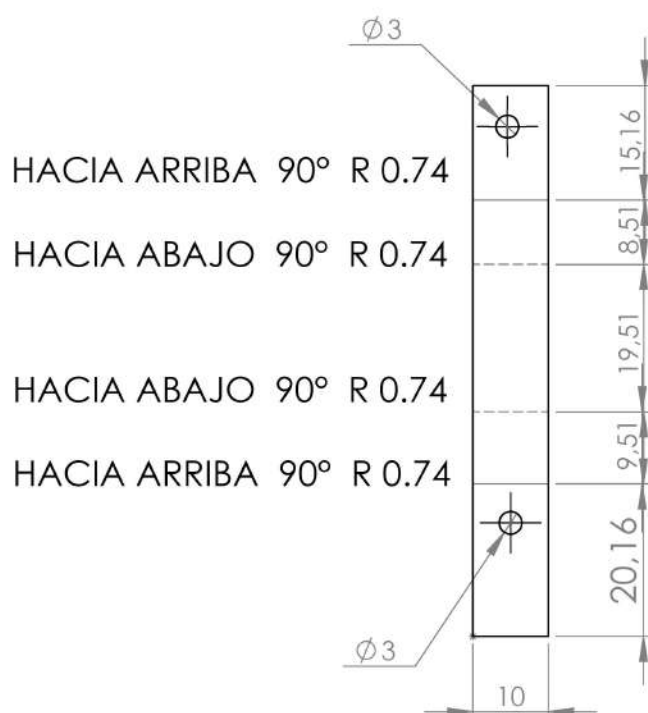
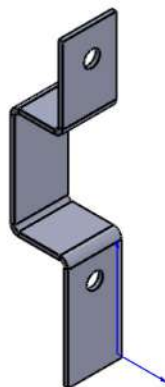
	Fecha	Nombre	Firma	Comentario:	
Dibujado	17/03/2018	David Garcia			
Comprobado					
Escala: 1:2	1er angulo 	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH			Tolerancias generales de fabricacion: DIN 7 168
MOLDE Foot suport					Material: madera de pino
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.					Peso: g
Formato:	A4	Pagina:	Hoja 1 de 1	Versión: 1.1	Cantidad: 1



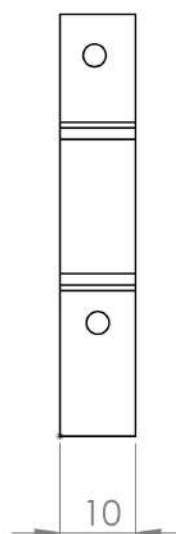
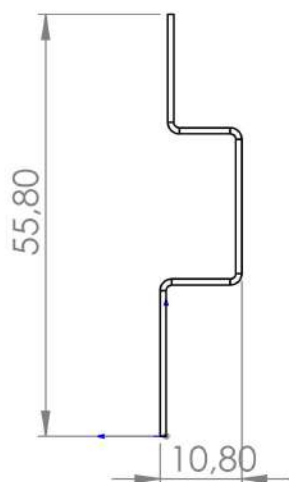
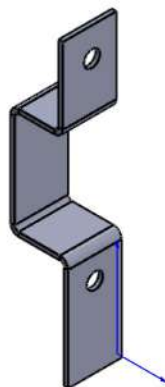
	Fecha	Nombre	Firma	Comentario:	
Dibujado	16/03/2018	David Garcia			
Comprobado					
Escala:	1er angulo	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH	Tolerancias generales de fabricacion DIN 7 168		
1:5					
Base Pedals					Material:
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.					Peso: g
Formato:	A4	Pagina:	Hoja 1 de 1	Versión: 1.1	Cantidad: 1



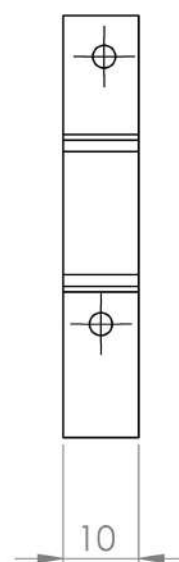
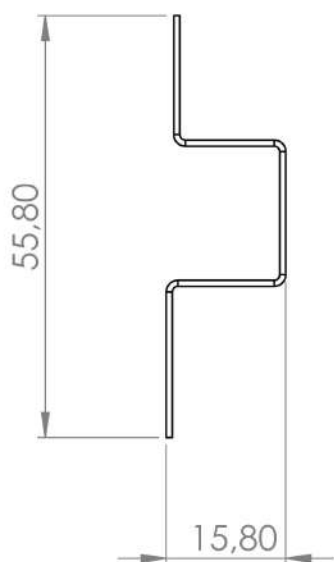
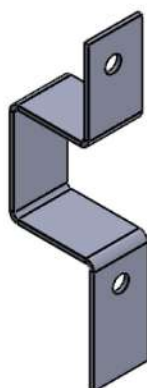
	Fecha	Nombre	Firma	Comentario:	
Dibujado	20/02/2018	David Garcia			
Comprobado					
Escala: 1:1	1er angulo 	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH			Tolerancias generales de fabricacion: DIN 7 168
2x_AI 5454_0.8mm_Placa BOTS dreta_desdoblado					Material: Al 5454
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.					Peso: g
Formato:	A4	Pagina:	Hoja 1 de 1	Versión: 1.1	Cantidad: 2



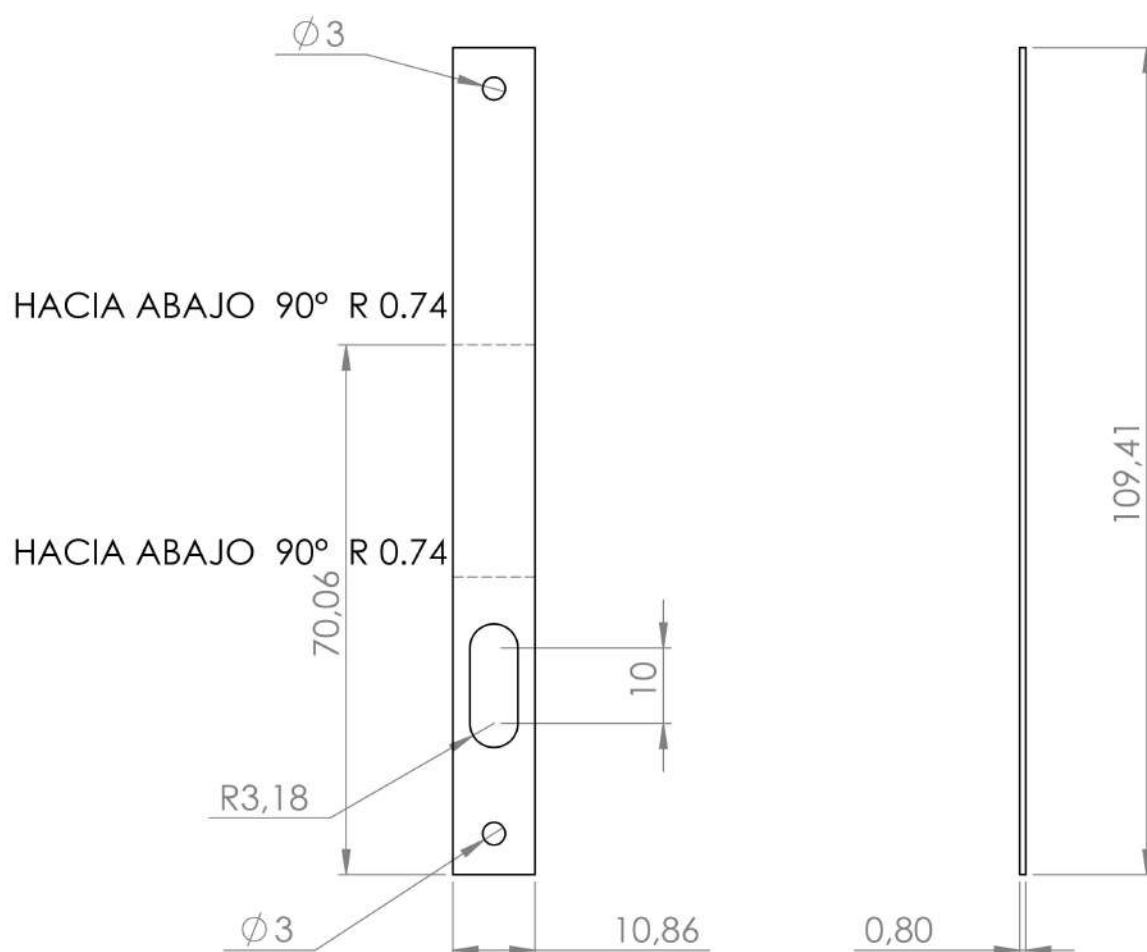
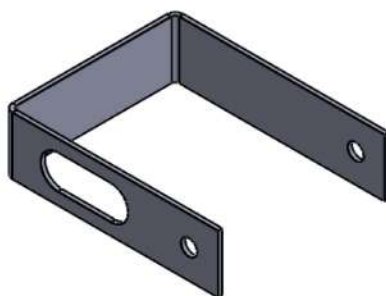
	Fecha	Nombre	Firma	Comentario:	
Dibujado	20/02/2018	David Garcia			
Comprobado					
Escala: 1:1	1er angulo 	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH			Tolerancias generales de fabricacion DIN 7 168
					2x_Al 5454_0.8mm_Placa BOTS esquerra_desdoblado
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.					Peso: g
Formato:	A4	Pagina:	Hoja 1 de 1	Versión: 1.1	Cantidad: 2



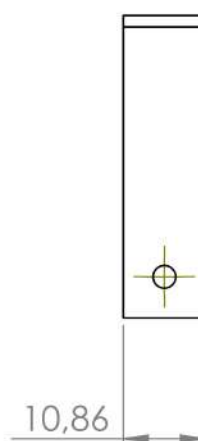
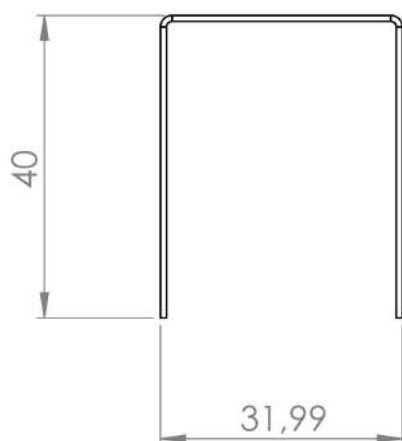
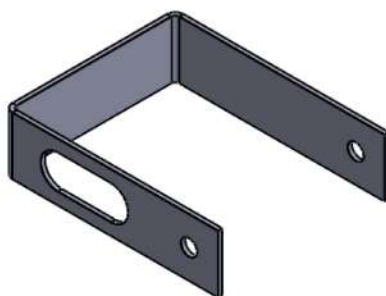
	Fecha	Nombre	Firma	Comentario:	
Dibujado	20/02/2018	David Garcia			
Comprobado					
Escala: 1:1	1er angulo 	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH			Tolerancias generales de fabricacion DIN 7 168
		2x_Al 5454_0.8mm_Placa BOTS esquerra_doblado			Material: Al 5454
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.					Peso: g
Formato:	A4	Pagina:	Hoja 1 de 1	Versión: 1.1	Cantidad: 2



	Fecha	Nombre	Firma	Comentario:	
Dibujado	20/02/2018	David Garcia			
Comprobado					
Escala: 1:1	1er angulo 	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH			Tolerancias generales de fabricacion DIN 7 168
		2x_AI 5454_0.8mm_Placa BOTS dreta_doblado			Material: AI 5454
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.					Peso: g
Formato:	A4	Pagina:	Hoja 1 de 1	Versión: 1.1	Cantidad: 2



	Fecha	Nombre	Firma	Comentario:	
Dibujado	20/02/2018	David Garcia			
Comprobado					
Escala: 1:1	1er angulo 	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH			Tolerancias generales de fabricacion DIN 7 168
		2x_AI 5454_0.8mm_Placa BOTS interior_desdoblado			Material: Al 5454
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.					Peso: g
Formato:	A4	Pagina:	Hoja 1 de 1	Versión: 1.1	Cantidad: 2



	Fecha	Nombre	Firma	Comentario:	
Dibujado	20/02/2018	David Garcia			
Comprobado					
Escala: 1:1	1er angulo 	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH			Tolerancias generales de fabricacion DIN 7 168
		2x_Al 5454_0.8mm_Placa BOTS interior_doblado			Material: Al 5454
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.					Peso: g
Formato:	A4	Pagina:	Hoja 1 de 1	Versión: 1.1	Cantidad: 2